

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

THALES

THALES



Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electronique

Projet de fin d'études présenté par :
CHERRIH Abdelkrim
HAFID Ishak

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique, ENP

Thème

**Sécurité ferroviaire, conception et réalisation
d'un compteur d'essieux**

Proposé et dirigé par :
M.J.C. FERRIERE
M. KABOUCHE Djamel,
de Thales-Algérie

Co-promoteur :
M. TRABELSI Mohammed, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique

هذا العمل يتألف من جزأين من الدراسة. يتعلق الجزء الأول بميدان السكك الحديدية. نظرا لأهمية الأمن في هذا الأخير تم إدخال معايير لتحسين مستوى السلامة في المعدات والمرافق التي لها علاقة مع هذا الميدان. من بين المتطلبات التي تملئها هذه المعايير نجد ما يسمى "مراحل التحقق والتثبيت". أي نظام أو جهاز موجه للاستعمال في السكك الحديدية يجب أن يخضع بالضرورة لهذه المراحل قبل الموافقة عليه.

الجزء الثاني يتمثل في انجاز جهاز إلكتروني للكشف عن وجود أو عدم وجود قطار في منطقة ما وهو نظام متحكم يستخدم أجهزة إرسال واستقبال الكتروضوئية لكشف وعد (عد تنازلي) عجلات القطار المعني.

كلمات مفاتيح: EN 61508, دورة V, التحقق والتثبيت, متحكم, عد, البرمجة, المنطقة.

Résumé

Ce travail comporte deux parties d'études. La première partie concerne le milieu ferroviaire. La sécurité dans ce dernier étant un jeu très important, des normes ont été instaurées afin d'améliorer au maximum le niveau de sécurité dans les équipements et installations ayant relations avec ce milieu. Parmi les prescriptions dictées par ces normes on trouve ce que l'on appelle les « étapes de vérifications et de validation ». Tout système destiné à être utilisé dans le milieu ferroviaire doit impérativement être soumis à ces étapes avant son approbation.

La deuxième partie est une réalisation d'un circuit électronique servant à détecter la présence ou non d'un train dans une zone. C'est un système à base de microcontrôleur qui utilise des émetteurs-récepteurs optoélectroniques afin de détecter et de compter (décompter) les essieux du train concerné.

Mots clés: EN 61508, cycle en V, vérifications, validation, microcontrôleur, comptage, programmation, zone.

Abstract

This work comprises two parts of study. The first part concerns the railway environment. Safety the latter being very important game, standards have been introduced to improve the level of maximum safety equipment and facilities with relations with this community. Among the requirements dictated by these standards we find what we call the "steps verification and validation". Any system designed to be used in the railway must necessarily be subjected to these steps before approval.

The second part is a realization of an electronic circuit for detecting the presence or absence of a train in an area. It is a microcontroller based system that uses optoelectronic transceivers to detect and count (countdown) the axles of the train concerned.

Keywords : EN 61508, V-cycle, verification, validation, microcontroller, counting, programming, area.

Remerciements

Louanges à ALLAH qui nous a donné la foi et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons tout d'abord à témoigner notre grande reconnaissance aux enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique et spécialement à ceux du département d'Electronique.

Un remerciement particulier à M.OLIVIER GEUDRE, directeur de Thales Algérie, de nous avoir accueilli au sein de l'entreprise et offert la possibilité d'effectuer ce stage, sans oublier aussi l'ensemble du personnel pour leur sympathie et bonne coopération durant toute la durée du stage.

Nous remercions également nos encadreur, M.TRBELSI MOHAMMED Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, M.J.C FERRIERE et M.KABOUCHE DJAMEL de Thales Algérie, pour avoir veillé au bon déroulement de ce stage et pour leurs conseils et indications.

Merci aux membres du jury, Messieurs AKSAS RABIA, TRABELSI MOHAMMED, ZERGUI RACHID, J.C.FERRIERE et M.OLIVIER GEUDRE d'avoir pris le temps et le soin de lire ce rapport.

Pour finir, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Nous dédions le fruit de nos efforts à toutes les personnes chères à nos cœurs, qui par leur soutien, amour et encouragement ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

A nos chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous espérons qu'ils trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour pour leurs sacrifices, leur soutien et leur confiance en nous.

A nos frères et sœurs et à toutes nos familles sans oublier personne.

A nos chers amis les étudiants du département de Génie Electrique et spécialement à nos camarades de classe en Electronique à l'Ecole Nationale Polytechnique

Une pensée pour tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin durant nos études.

Sommaire

1^{ère} partie

Sécurité ferroviaire

Introduction Générale	1
Présentation du groupe Thales.....	2
Chapitre I Normes de sécurité dans le milieu ferroviaire	2
1. Présentation de la norme CEI 61508.....	2
2. Normes EN 50126/EN 50128/EN 50129	5
2.1 La norme EN 50126 « Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité »	5
2.2 La norme EN 50128 « Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement».....	8
2.3 La norme EN 50129 – « Applications ferroviaires – Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation »	9
3. Le SIL, une mesure de la sécurité fonctionnelle.....	10
Chapitre II Installations de sécurité dans le milieu ferroviaire	14
1. Installation de signalisation	14
2. Les aiguilles	14
3. Les zones isolées	17
3.1 Circuits de voie	17
3.2 Les compteurs d'essieux	18
4. Les enclenchements	18
4.1 Risques inhérents aux circulations ferroviaires couverts par les enclenchements	19
4.2 Mode de réalisation des enclenchements.....	19
4.3 Les enclenchements mécaniques	20
4.4 Les enclenchements électriques	20
5. Poste d'aiguillage informatique à technologie PC	21
5.1 Poste local.....	21
5.2 Commande centralisée de voie banalisée	21

6. Description du schéma (Fig. II .5).....	21
Chapitre III Etapes de vérification et validation des installations de sécurité ferroviaire	24
1. Définition	24
1.1 Contrôle qualité	24
1.2 Vérification technique	24
1.3 Essais avant mise en service	25
2. Planification	25
2.1 Planification des vérifications et contrôles qualité	25
2.2 Domaines d'applications	26
2.2.1 Implantation	26
2.2.2 Pose.....	26
2.2.3 Repérage.....	27
2.2.4 Conformité détaillée de réalisation	27
2.2.5 Mesures, réglages électriques et mécaniques	28
2.2.6 Opérations diverses, plombages, cadenasements.....	28
2.2.7 Approvisionnement de matériel	28
2.2.8 Documents	28
2.3 Planifications des essais	29
2.3.1 Les essais plate-forme.....	29
2.3.2 Essais campagne	29
2.3.3 Essais poste campagne	29
2.4 Cahiers d'essais	30
2.4.1 Initialisation de la rédaction du cahier d'essais statiques	30
2.4.2 Rédaction du cahier d'essais statiques	30
2.4.3 Vérification du Cahier d'Essais statiques	32
2.4.4 Diffusion du cahier d'essais statiques	32
2.4.5 Organisation de la rédaction du cahier d'essais dynamiques	32
2.4.6 Initialisation de la Rédaction du Cahier d'Essais dynamiques.....	33
2.4.7 Rédaction du cahier d'essais dynamiques	33
2.4.8 Vérification du cahier d'essais dynamiques	34
2.4.9 Diffusion du cahier d'essais dynamiques	34

Chapitre I Présentation du compteur d'essieux AzLM.....	35
1. Présentation du CdV.....	35
2. Le compteur d'essieux.....	35
2.1 Connaissance du matériel.....	36
Chapitre II Description du fonctionnement des éléments du système.....	41
1. Vue d'ensemble du système.....	41
2. Alimentation stabilisée.....	42
3. Le NE555.....	45
4. La diode électroluminescente.....	48
5. Le phototransistor.....	49
6. Les filtres passifs.....	50
7. Le montage comparateur.....	51
8. Le microcontrôleur.....	55
Chapitre III Etude du fonctionnement.....	57
1. Fonctionnement global du système.....	57
2. Fonctionnement des détecteurs.....	58
2.1 Fonctionnement de l'émetteur.....	58
2.2 Fonctionnement du récepteur.....	59
3. Système de comptage et d'affichage.....	61
3.1 Présentation du microcontrôleur 16F877A.....	61
3.1.1 Le langage de programmation (software).....	63
3.1.2 La carte de programmation (hardware).....	63
3.2 Fonctionnement.....	64
Chapitre IV Simulation et réalisation pratique.....	65

Chapitre IV Simulation et réalisation pratique	65
1. La simulation.....	65
1.1 Alimentation stabilisée	65
1.2 Simulation du circuit émetteur	67
1.3 Simulation du circuit récepteur.....	68
2. Réalisation pratique.....	71
Conclusion Générale.....	76
Bibliographie & Webographie.....	77
Annexe A	78
Calcul de la valeur de la capacité de filtrage après redressement	78
Annexe B.....	79
Le code source du programme implanté dans le microcontrôleur	79

Table des figures

Fig. I.1 La norme CEI 61508 et ses dérivés.....	4
Fig. I.2 Représentation séquentielle du cycle de vie.....	6
Fig. I.3 Représentation en « V » du cycle de vie.....	7
Fig. I.4 Vérification et validation.....	8
Fig. II.1 Aiguillage manœuvré par transmission rigide.....	15
Fig. II.2 Aiguillage manœuvré par mécanisme électrique.....	15
Fig. II.3 Aiguillage déviation à gauche cintré à gauche.....	16
Fig. II.4 Système de commande et de contrôle d'aiguille.....	17
Fig. II.5 Exemple d'une gare parcouru par deux trains de sens différents (1 ^{ère} étape).....	23
Fig. II.6 Exemple d'une gare parcouru par deux trains de sens différents (2 ^{ème} étape).....	23
Fig. III.1 Cycle en V.....	24
Fig. I.1 Modèle électrique du circuit de voie.....	35
Fig. I.2 Châssis.....	36
Fig. I.3 Unité électronique E-Es30H.....	38
Fig. I.4 Filtre CEM.....	38
Fig. I.5 Carte Evaluation.....	38
Fig. I.6 Module d'adaptation.....	39
Fig. I.7 Double contact de rail « sk1 », « sk2 ».....	39
Fig. II.1 Schéma bloc du système.....	41
Fig. II.2 Réalisation pratique d'un transformateur.....	42
Fig. II. 3 La diode est passante : elle est équivalente à un conducteur de résistance négligeable ; La diode est bloquée, elle est équivalente à un interrupteur ouvert.....	43

Fig. II.4 La diode dans le schéma de l'alimentation	43
Fig. II.5 Le condensateur dans un circuit électrique	44
Fig. II.6 Le condensateur dans le schéma de l'alimentation : lissage	44
Fig. II.7 Le redressement à double-alternance	45
Fig. II.8 Alimentation stabilisée et régulée en tension	45
Fig. II.9 Symbole schématique du 555	46
Fig. II.10 Schéma bloc simplifié du NE555.....	47
Fig. II.11 Diagramme schématique du NE555 en configuration astable	48
Fig. II.12 Polarisation de la LED	49
Fig. II.13 Symbole du phototransistor	50
Fig. II.14 Schéma synoptique d'un filtre	50
Fig. II.15 Exemple d'un filtre passe-bas	50
Fig. II.16 Fréquences de coupure à -3dB.....	51
Fig. II.17 Fonction de transfert d'un filtre	51
Fig. II.18 Tension de sortie d'un comparateur	52
Fig. II.19 Symbole du comparateur non inverseur.....	52
Fig. II.20 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur.....	52
Fig. II.21 Symbole du comparateur inverseur.....	53
Fig. II.22 Diagramme de transfert du comparateur inverseur.....	53
Fig. II.23 Montage comparateur non inverseur.....	53
Fig. II.24 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur, tension de référence positive.....	54
Fig. II.25 Montage comparateur inverseur.....	54
Fig. II.26 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur, tension de référence positive.....	54
Fig. II.27 Organisation interne du μC	55
Fig. II.28 Shéma synoptique du traitement automatique pour un μC	55
Fig. II.29 Etapes de Développement et mise au point d'un programme.....	56
Fig. III.1 Emplacement des détecteurs dans la zone	57

Fig. III.2 Spectre d'émission de la LD271.....	58
Fig. III.3 Montage émetteur.....	59
Fig. III.4 Montage récepteur.....	59
Fig. III.5 Schéma électrique du premier étage du montage récepteur.....	60
Fig. III.6 Circuit de charge du condensateur C4.....	60
Fig. III.7 Schéma électrique du second étage du montage récepteur.....	61
Fig. III.8 Brochage du PIC 16F877A.....	62
Fig. III.9 Structure interne du PIC 16F877A.....	62
Fig. III.10 IDE du MicroC.....	63
Fig. III.11 Interface utilisateur du PICkit™2.....	64
Fig. III.12 Montage du système de comptage.....	64
Fig. IV.1 Schéma électrique de l'alimentation stabilisée.....	65
Fig. IV.2 Tension de l'alimentation secteur.....	65
Fig. IV.3 L'allure de la tension à la sortie du transformateur.....	66
Fig. IV.4 L'allure de la Tension après redressement et filtrage.....	66
Fig. IV.5 L'allure de la tension à la sortie du régulateur.....	67
Fig. IV.6 L'allure de la tension à la sortie du NE555.....	67
Fig. IV.7 Schéma électrique du premier étage du montage récepteur.....	68
Fig. IV.8 L'allure de la tension collecteur du transistor.....	68
Fig. IV.9 L'allure de la tension à la sortie du comparateur U2.....	69
Fig. IV.10 Circuit de charge et décharge du condensateur C4.....	69
Fig. IV.11 Charge et décharge du condensateur C4.....	70
Fig. IV.12 L'allure de la tension à la sortie du comparateur U3 lorsque la zone est libre.....	70
Fig. IV.13 L'allure de la sortie du comparateur U3 aux passages des essieux.....	71
Fig. IV.14 Circuit imprimé du premier couple de détecteurs.....	72
Fig. IV.15 Circuit imprimé du second couple de détecteurs.....	72
Fig. IV.16 Circuit imprimé de l'alimentation stabilisé et du module de comptage.....	73
Fig. IV.17 Liste des composants pour l'alimentation stabilisée.....	73

Fig. IV.18 Liste des composants pour les détecteurs	74
Fig. IV.19 Liste des composants pour le système de comptage	74
Fig. IV.20 Le circuit d'alimentation et du système de comptage	75
Fig. IV.21 Le circuit du couple de détecteurs	75

Liste des tableaux

Tableau. I.1 Niveaux d'intégrité de la sécurité	9
Tableau. I.2 Correspondance niveau SIL et probabilité de défaillance	11
Tableau. II.1 Brochage du NE555.....	46

Liste des abréviations

ENP.....	Ecole Nationale Polytechnique
CENELEC	Comité Européenne de Normalisation Electrotechnique
E/E/EP.....	Electriques, Electronique et Programmable Electronique
FDMS.....	Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité
SIL.....	Safety Integrity Level
PFHd.....	Probability of dangerous Failure per Hour
PFD.....	Probability of Failure on Demand
CDV.....	Circuits De Voie
BAPR.....	Block Automatique a Permissivité Restreinte
PIPC.....	Poste Informatique à technologie PC
PC.....	Personal Computer
VG.....	Voie de Gauche
MADPI.....	Module d’Affichage et De Programmation d’Itinéraires
MEI.....	Module d’Enclenchement Informatique
TIS.....	Transmission Informatique de Sécurité
AG.....	Aiguilles
Av.....	Avertissement
PV.....	Procès-verbal
PCC.....	Poste de Commande Centralisé
IHM.....	Interface Homme Machine
ATC.....	Control de Train Automatique
BAPR.....	Block Automatique à Permissivité Restreinte
EP.....	Embedded Pentium

RNIS.....	<i>Réseau Numérique à Intégration de Services</i>
DC.....	Direct Courant
eV.....	electron Volt
LED.....	Light Emitting Diode
E.....	Emetteur
R.....	Récepteur
D.....	Détecteur
mF.....	milli-Farad
nF.....	nano-Farad
pF.....	pico-Farad
C.....	Capacité
HF.....	Haute Fréquence
BF.....	Base Fréquence
Fc.....	Fréquence de Coupure
μ C.....	Microcontrôleur
IR.....	Infra-rouge
IDE.....	Integrated Development Environment

Introduction Générale

Pour beaucoup de personnes, le milieu ferroviaire se résume en un train roulant sur des rails. D'ailleurs, c'est la vision que nous avons aussi de ce milieu avant de s'être confrontés directement avec ce dernier.

En effet, dans le cadre du projet de fin d'études nous avons effectué un stage d'une durée de 6 mois chez une entreprise responsable de la signalisation ferroviaire en Algérie qui est Thales-Algérie filiale de Thales-group.

Durant cette période nous avons eu l'occasion de mieux connaître le milieu ferroviaire et de constater que ce n'était pas seulement des trains et des rails mais un environnement très complexe avec de très lourdes responsabilités, car faire rouler des trains en toute sécurité n'est pas aussi simple.

Ce mémoire est réparti en deux grandes parties. La première concerne la sécurité ferroviaire. Nous commencerons par la présentation des normes de sécurité qui régissent les différents dispositifs utilisés dans ce milieu. Ensuite nous verrons les installations de sécurité utilisées et enfin nous détaillerons les étapes de vérifications et de validation avant la mise en service de ces installations.

La deuxième partie portera sur une réalisation pratique d'un système électronique dont le principe de fonctionnement a été emprunté à un produit Thales. Ce dernier s'intitule « Compteur d'essieux AzLM ».

Dans cette 2^{ème} partie nous commencerons par la présentation de cet équipement, ensuite nous passerons à la description du fonctionnement des éléments de notre système. Nous détaillerons aussi le fonctionnement global ainsi que le fonctionnement de chaque bloc du système. Enfin nous présenterons les résultats obtenus en simulation et les étapes suivies pour aboutir au produit final.

Nous terminerons cet exposé par une conclusion générale.

Présentation du groupe Thales

Thales, anciennement Thomson-CSF jusqu'au 5 décembre 2000, est un groupe d'électronique spécialisé dans l'aérospatial, la défense et les technologies de l'information. Coté à la bourse de Paris, présent dans 50 pays et employant 68 000 collaborateurs, Thales est un des leaders mondiaux des systèmes d'information critiques sur les marchés de l'aéronautique et de l'espace, de la défense et de la sécurité.

La société Thomson-CSF est créée en 1968 de la fusion de la Compagnie générale de la télégraphie sans fil (CSF) et des activités d'électronique professionnelle de la société Thomson-Brandt. Ces deux sociétés ont elles-mêmes toutes les deux déjà une longue histoire : Thomson-Brandt est issue de la Compagnie Française Thomson-Houston. Cette société avait été créée en 1893 pour exploiter en France les brevets de la société américaine Thomson-Houston Electric Company, dans le domaine alors émergent de la production et du transport de l'électricité, brevets dus aux inventeurs éponymes Elihu Thomson et Edwin Houston. La société C.S.F., quant à elle avait été créée en 1918 et avait dès la fin de la Première Guerre mondiale été l'un des pionniers des transmissions hertziennes. Avec sa filiale Société française radioélectrique elle a joué un rôle primordial, avant la Seconde Guerre mondiale, dans le développement de la radiodiffusion, des radiocommunications sur ondes courtes, de l'électro-acoustique et, déjà, du radar et de la télévision.

Le développement du groupe, par croissance interne et par acquisitions, notamment le rachat en juin 2000 de la société britannique Racal Electronics modifie en profondeur le domaine d'activités du groupe, notamment les marchés civils des technologies de l'information, les télécommunications mobiles. En juillet 2000, une nouvelle organisation en trois pôles est mise en place, autour de la défense, l'aéronautique, et des technologies de l'information et des services. En décembre 2000, Thomson-CSF devient Thales.

Le groupe Thales est organisé de façon matricielle : par pays et par domaine d'activité :

- Avionique,
- Défense terrestre,
- Espace,
- Opérations aériennes,
- Systèmes C4I de défense et sécurité,
- Systèmes de mission de défense,
- Systèmes de transport.

Thales Algérie

Deux domaines de Thales sont développés en Algérie depuis 2008 :

- 1- Système de signalisation ferroviaire
- 2- Système de sécurité des infrastructures critiques

Thales est devenu un partenaire incontournable dans le programme de modernisation du secteur ferroviaire en Algérie. Les trois projets, en cours de réalisations, sont définis comme projets prioritaires dans le programme de soutien à la relance économique.

Les projets en cours de réalisation sont : Ain Touta / M'sila, Tizi-Ouzou / Oued Aissi et Rocade Nord.

Concernant la sécurisation des sites critiques, Thales réalise pour Sonatrach le système permettant de protéger des sites sensibles comme les stations de compression et de stockage dans les zones industrielles, ou le long des pipes qui remontent des champs pétroliers du sud vers Arzew.

1^{ère} Partie

Sécurité ferroviaire

Chapitre I Normes de sécurité dans le milieu ferroviaire

Les exigences imposées à l'industrie en termes de sécurité font que les équipements ressortissants de ce domaine doivent présenter le minimum de risques possibles. Pour atteindre cet objectif, des fonctions de sécurités ont été intégrées afin de permettre à l'exploitant de satisfaire le service demandé tout en garantissant la protection des personnes, des équipements et de l'environnement.

Parmi les secteurs où la sécurité représente un enjeu décisif, il ya le **ferroviaire**. En effet, étant un moyen de transport très fréquenté, une quelconque anomalie peut entraîner des dégâts majeurs.

Afin de réduire au maximum la probabilité d'occurrence des défaillances et de minimiser la gravité des conséquences en cas d'un événement dangereux, des normes ont été instaurées définissant les exigences de sécurité auxquelles doivent répondre les équipements utilisés dans les applications ferroviaires.

1. Présentation de la norme CEI 61508

Elle est une norme générique, créée en version européenne EN 61508 par le CENELEC, aujourd'hui utilisée comme référentiel par tous les grands secteurs industriels. [5]

Elle utilise une **approche basée sur le risque encouru** afin de déterminer les prescriptions nécessaires concernant l'intégrité de sécurité des systèmes électriques (E), électronique (E) et programmable électronique (PE) en abrégé E/E/EP, relatifs à la sécurité.

Elle décrit un modèle de **cycle de vie de sécurité global** servant de cadre aux activités qui sont nécessaires pour s'assurer que la sécurité fonctionnelle est réalisée par les systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité.

Elle couvre toutes les activités de ce **cycle de vie** de sécurité depuis la conceptualisation initiale, en passant par l'analyse des dangers et l'évaluation du risque, la détermination des prescriptions concernant la sécurité, la conception, l'exploitation, la maintenance, les modifications, jusqu'à la mise hors service et la dépose.

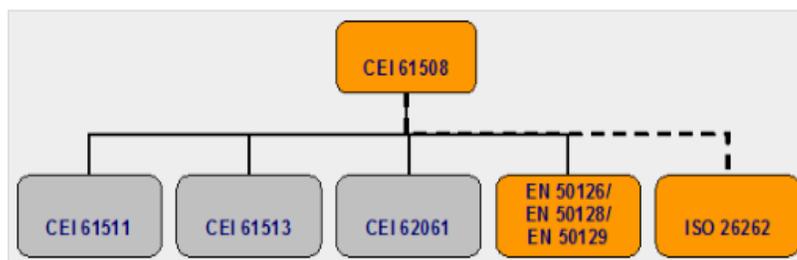


Fig. 1.1 La norme CEI 61508 et ses dérivés

2. Normes EN 50126/EN 50128/EN 50129

Dans le but de pouvoir mettre en œuvre les démarches décrites dans la norme CEI 61508, dans le domaine du ferroviaire, trois normes ont été créées et que nous exposerons ci-dessous.

2.1 La norme EN 50126 « Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité »

Elle permet de mettre en œuvre une démarche cohérente de gestion de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité appelé FDMS. Elle peut être appliquée dans le ferroviaire tout au long du cycle de vie car elle intègre les exigences FDMS spécifiques à ce domaine. [2]

- **Domaine d'application**

Elle est applicable à la spécification et à la démonstration des exigences de FDMS pour toute application ferroviaire et à tout niveau d'une telle application, d'une ligne complète aux grands systèmes de cette ligne jusqu'aux sous-systèmes et aux équipements y compris ceux qui comportent des logiciels.

- **Management de la FDMS**

Cette norme admet la nécessité d'établir un équilibre entre les performances de FDMS d'un système et le coût de développement et d'usage de ce système, connu sous l'appellation coût global. Elle définit aussi dans un contexte global de projet, les objectifs, les exigences, les éléments d'entrée et les éléments de sortie des tâches de FDMS propres à chaque phase du cycle de vie.

Le processus fournit sous forme séquentielle, le détail des tâches à accomplir au cours des différentes phases du cycle de vie ; il sert de base pour conclure en toute connaissance de cause des accords relatifs soit à des tâches particulières de FDMS soit à une combinaison de tâches dans le cadre d'un processus intégré de management. La responsabilité d'exécution de ces tâches dépend du système concerné et des conditions contractuelles applicables.

La présente norme présente le cycle de vie du système de manière séquentielle. Cette représentation fait apparaître chaque phase isolément ainsi que les liens entre les différentes phases.

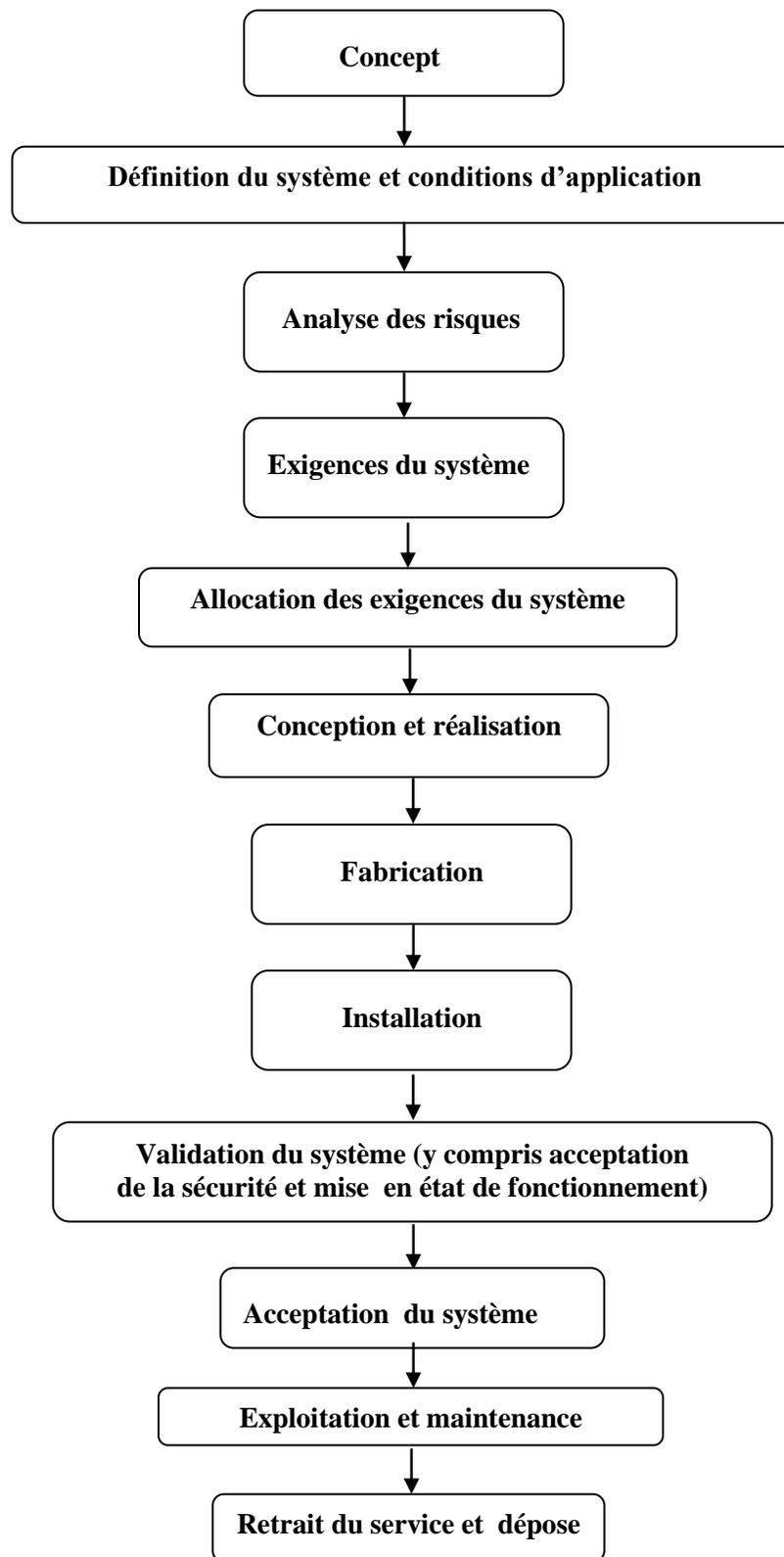


Fig. I.2 Représentation séquentielle du cycle de vie

- **Le cycle en « V »**

La représentation en « V » est une des nombreuses représentations du cycle de vie répandues dans l'industrie. La branche descendante (à gauche) est généralement appelée développement ; il s'agit d'un processus de plus en plus détaillé qui s'achève par la fabrication des composants du système. La branche ascendante (coté droit) concerne l'assemblage, l'installation, la réception ainsi que l'exploitation du système globale.

La représentation en « V » suppose que les activités d'acceptation sont intrinsèquement liées aux activités de développement dans la mesure où ce qui est effectivement conçu doit in fine être vérifié eu égard aux exigences. Ainsi, les activités de validation liées à l'acceptation, lors des différentes étapes de l'élaboration d'un système, sont fondées sur les spécifications de ce système et il est recommandé de les prévoir très tôt, c'est-à-dire dès le début des étapes de développement du cycle de vie.

Cette représentation montre de manière efficace les tâches de vérification et de validation au cours du cycle de vie. L'objectif de la vérification est de démontrer que, pour des éléments d'entrée spécifiques, les éléments de sortie de chaque phase satisfont en tous points aux exigences de cette phase. L'objectif de la validation est de démontrer que le système concerné, à tous les étapes de son développement et après son installation, satisfait en tous points aux exigences applicables.

Pour mettre en évidence les phases de vérification il faut :

- plier la ligne afin de différencier les phases de production et de validation.
- faire le parallèle entre les phases de conception/réalisation et les phases de tests.
- une erreur découverte lors d'une phase de test remet en cause la phase de conception associée.

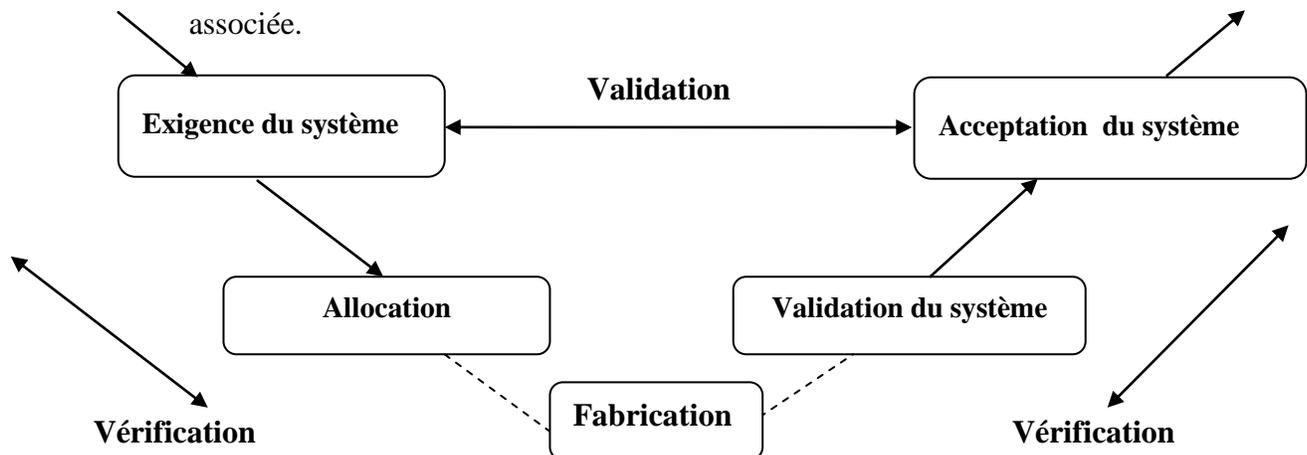


Fig. I.3 Représentation en « V » du cycle de vie

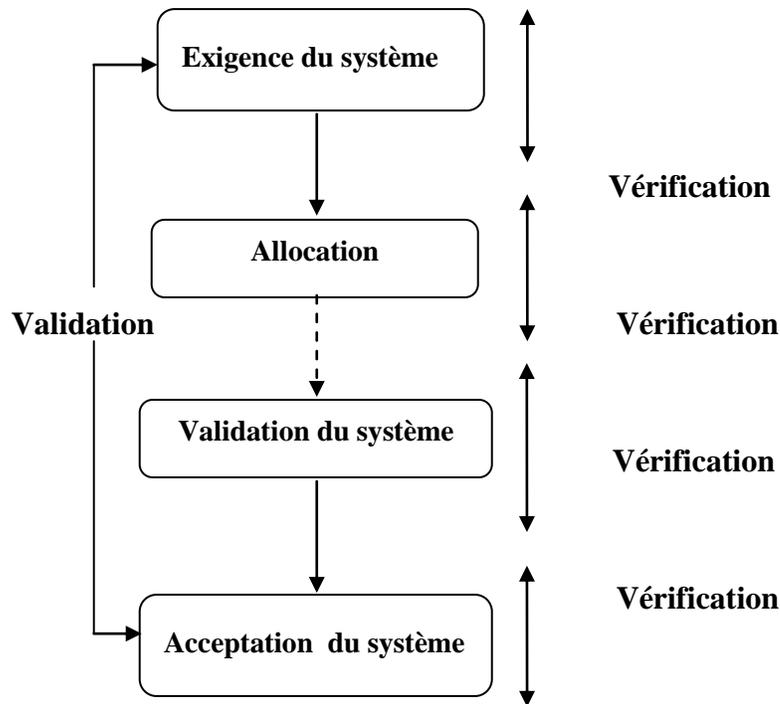


Fig. I.4 Vérification et validation

2.2 La norme EN 50128 « Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement »

Le concept clé de cette norme est celui des niveaux d'intégrité de la sécurité logicielle. Elle spécifie les mesures nécessaires au respect des exigences de sécurité affectées au logiciel à travers les normes **EN 50126** et **EN 50129**. Les niveaux d'intégrité de la sécurité ou SIL sont d'autant plus importants que les conséquences d'une défaillance sont dangereuses. Ils varient du niveau 1 au niveau 4 selon la nature de l'application, l'interaction avec les autres systèmes assurant des fonctions de sécurité, ainsi que des facteurs socio-économiques. [3]

- **Domaine d'application**

La norme **EN 50128** spécifie les procédures et les exigences techniques applicables au développement des systèmes électroniques programmables utilisés dans les applications de commande et de protection ferroviaire. Elle s'applique exclusivement au logiciel et à l'interaction entre ce logiciel et le système au quel il appartient.

- **Cycle de vie du logiciel**

Le **cycle de vie d'un logiciel** désigne toutes les étapes du développement d'un logiciel, de sa conception à sa mise en dépose. L'objectif d'un tel découpage est de permettre de définir des jalons intermédiaires permettant la **validation** du développement du logiciel, c'est-à-dire la conformité du logiciel avec les besoins exprimés, et la **vérification** du processus de développement, c'est-à-dire l'adéquation des méthodes mises en œuvre.

- **Niveaux d'intégrité de la sécurité logicielle**

Le niveau d'intégrité de la sécurité logicielle dépend du niveau de risque que présente l'utilisation de ce logiciel dans le système et du niveau d'intégrité de la sécurité du système lui-même.

Les risques qui doivent être prise en considération sont ceux engendrant :

- La perte de vies humaines.
- Des blessures ou maladies pour les personnes
- la pollution de l'environnement
- Pertes ou dommages des biens et des équipements

Le niveau d'intégrité de la sécurité appartient à l'un des cinq niveaux suivants :

Niveau d'intégrité de la sécurité	Description de l'intégrité de la sécurité
4	Très élevé
3	Elevé
2	Moyenne
1	Faible

Tableau. I.1 Niveaux d'intégrité de la sécurité

2.3 La norme EN 50129 – « Applications ferroviaires – Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation »

Elle définit les exigences pour l'acceptation et l'approbation des systèmes électroniques relatifs à la sécurité dans le secteur de la signalisation ferroviaire. Elle indique les prescriptions relatives à la sécurité que doit supporter le matériel et le système globale. [4]

Les exigences décrites dans cette norme concernent la totalité du cycle de vie, des preuves pour l'acceptation de systèmes relatifs à la sécurité doivent donc être fournies pour chaque phase du cycle de vie.

- **Domaine d'application**

Cette norme est applicable aux systèmes/sous-systèmes/équipements relatifs à la sécurité dans la signalisation ferroviaire. Elle est en relation connexe avec la norme **EN 50126** qui définit les processus d'évaluation des risques et d'analyse des situations dangereuses, sur les quels la présente norme se base pour identifier les exigences de sécurité pour chaque situation.

Elle est applicable à l'acceptation de chaque phase du cycle de vie de systèmes complets de signalisation ainsi qu'aux sous-systèmes et aux équipements rattachés.

- **Cycle de vie sécurité**

Le cycle de vie de sécurité est constitué d'un ensemble de phases contenant des tâches reliées entre elles, et qui caractérisent le processus de gestion de la sécurité. Il est recommandé que ce processus soit conforme avec le cycle de vie du système défini dans la **EN 50126**.

3. Le SIL, une mesure de la sécurité fonctionnelle

On parle de **sécurité fonctionnelle** lorsque la sécurité dépend du fonctionnement correct d'un système E/E/PE.

La norme SIL sert à apprécier la fiabilité des fonctions de sécurité assurées par ces systèmes et est définie selon 4 niveaux de sécurité. Ceux-ci s'appellent des **niveaux d'intégrité de sécurité**. Le niveau 1 d'intégrité de sécurité (*SIL1*) est le niveau le plus bas tandis que le niveau 4 (*SIL4*) est le niveau le plus élevé.

La CEI 61508 norme détaille les prescriptions nécessaires pour répondre aux exigences de chaque niveau d'intégrité de sécurité. Ces prescriptions deviennent plus rigoureuses à mesure que le niveau de SIL s'élève en vue d'obtenir la probabilité d'une défaillance dangereuse de plus en plus faible.

Dans l'industrie, les fonctions de sécurité servent à la protection de la santé de ses salariés, de l'environnement et des biens. Les fabricants d'appareillages évaluent leurs appareils dans le cadre d'une appréciation conforme à la norme. Le fabricant peut y procéder lui-même de sa propre responsabilité jusqu'au niveau 2 ; un tiers indépendant intervient en la matière à partir du niveau 3.

Ces fonctions de sécurité sont réalisées par une boucle d'asservissement constituée de capteurs, de composants de commandes et d'actionneurs. Le niveau exigence de sécurité constitue un critère de fiabilité du système en fonction des risques. Les processus présentant des risques réduits sont montés avec un circuit de sécurité inférieur à celui de processus présentant des risques plus importants, par exemple pouvant entre autres entraîner la **mort d'homme**.

Les systèmes E/E/EP relatif à la sécurité intégreront souvent plus d'une fonction de sécurité. Ce sont des systèmes automatique qui en réponse à des signaux d'entrées génèrent des ordres de mise en sécurité tels que par exemple des systèmes d'arrêt d'urgence, une détection de survitesse générant un freinage automatique, une détection de présence générant une mise en sécurité, un système de signalisation, de positionnement, ... dans des domaines très variés comme le médical, le nucléaire, le secteur des machines, les procédés continu, l'automobile, le ferroviaire, l'armement...

Safety integrity level	Niveau de gravité	PFHd (pour des systèmes fortement sollicités*) PFDaverage (pour des systèmes faiblement sollicités*)	Facteur de réduction du risque
SIL 4	Catastrophique	10^{-5} à 10^{-4} 10^{-9} à 10^{-8}	$10\ 000$ à $100\ 000$ ---
SIL 3	Critique	10^{-4} à 10^{-3} 10^{-8} à 10^{-7}	$1\ 000$ à $10\ 000$ ---
SIL 2	Marginal	10^{-3} à 10^{-2} 10^{-7} à 10^{-6}	100 à $1\ 000$ ---
SIL 1	Insignifiant	10^{-2} à 10^{-1} 10^{-6} à 10^{-5}	10 à 100 ---

Tableau. I.2 Correspondance niveau SIL et probabilité de défaillance

3.1 Comment déterminer un SIL?

La démarche présentée ci-dessous, pour la détermination du niveau SIL, a été proposée par la norme **CEI 62061**.

➤ **1ère étape**

Identification des **phénomènes dangereux** y compris ceux résultant d'un mauvais usage raisonnablement prévisible.

➤ **2ème étape**

Estimation du risque, conduite pour chaque phénomène dangereux en déterminant les paramètres du risque, c'est-à-dire la sévérité des blessures ou dommages à la santé (Se) et la probabilité d'apparition d'un dommage. Cette dernière est fonction de :

- la fréquence et la durée d'exposition (Fr)
- la probabilité d'un événement dangereux (Pr)
- la probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage (Av)

La somme de ces trois paramètres détermine la classe de probabilité d'un dommage.

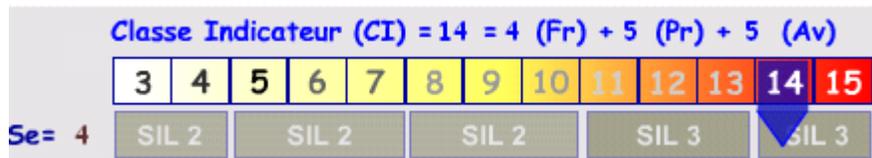
Cette démarche est illustrée dans l'exemple suivant :

Conséquences	Sévérité
Irréversible : mort, perte d'un œil ou d'un bras	4
Irréversible : membre(s) brisé(s), perte d'un (de) doigt(s)	3
Réversible : nécessitant l'attention d'un praticien médical	2
Réversible : nécessitant des premiers soins	1

Probabilité d'apparition	(Pr)
Très forte	5
Probable	4
Possible	3
Rare	2
Négligeable	1

Probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage	(Av)
Impossible	5
Rare	3
Probable	1

Fréquence d'exposition	Durée d'exposition	
	Moins de 10mn	Plus de 10mn
Toutes les heures ou moins	5	5
Entre une heure et 1 jour	4	5
Entre 1 jour et 2 semaines	3	4
Entre 2 semaines et une année	2	3
Supérieur à 1 an	1	2



A noter que le SIL4 n'apparaît que dans le cas où Se=4 et CI>15

Chapitre II Installations de sécurité dans le milieu ferroviaire

Dans ce chapitre nous allons présenter les dispositifs et méthodes utilisés pour assurer la sécurité dans le transport ferroviaire.

1. Installation de signalisation

Le rôle des installations de signalisation est de résoudre les quatre grands problèmes suivants :

- l'espace des circulations, pour éviter le rattrapage d'un convoi par un autre (Cantonnement ou block),
- la protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...),
- la circulation dans les deux sens sur une même voie (nez à nez),
- les déraillements par excès de vitesse,
- le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même plan (passages à niveau).

Il existe deux types de signalisation qui sont la signalisation **latérale** utilisée dans les lignes classiques parcourues par une vitesse ne dépassant pas les 160 Km/h et la signalisation de **cabine** pour les lignes à grande vitesse. Aussi les deux systèmes peuvent cohabiter.

La signalisation peut comporter :

- des tableaux lumineux,
- des tableaux mécaniques fixes ou effaçables,
- des tableaux ou pancartes réflectorisés,
- des guidons d'arrêt, ...

Elle est utilisée pour montrer la direction, signaler un arrêt, limiter une vitesse ou bien pour annoncer un arrêt. Ces deux dernières sont implantées tout en respectant respectivement la distance de ralentissement et la distance d'arrêt.

2. Les aiguilles

Un aiguillage est composé d'une partie mobile (les lames d'aiguilles) et d'une partie fixe. La partie où se croisent les voies est appelée le cœur.



Fig. II.1 Aiguillage manœuvré par transmission rigide



Fig. II.2 Aiguillage manœuvré par mécanisme électrique

- **Commande de l'aiguille**

Il existe des aiguilles qui sont manœuvrées manuellement à pied d'œuvre, d'autres manœuvrées à distance depuis un poste d'aiguillage, et le plus souvent électriquement.



Fig. II.3 Aiguillage déviation à gauche cintré à gauche

- **Contrôle de l'aiguille**

Le contrôle se fait à l'aide des contrôleurs électriques de placage des aiguilles renseignant l'aiguilleur sur la direction effective de l'aiguillage et empêchant l'ouverture du signal de protection de l'aiguillage en cas de problème. On appelle cela le « défaut de contrôle pour la direction de droite ou de gauche ».

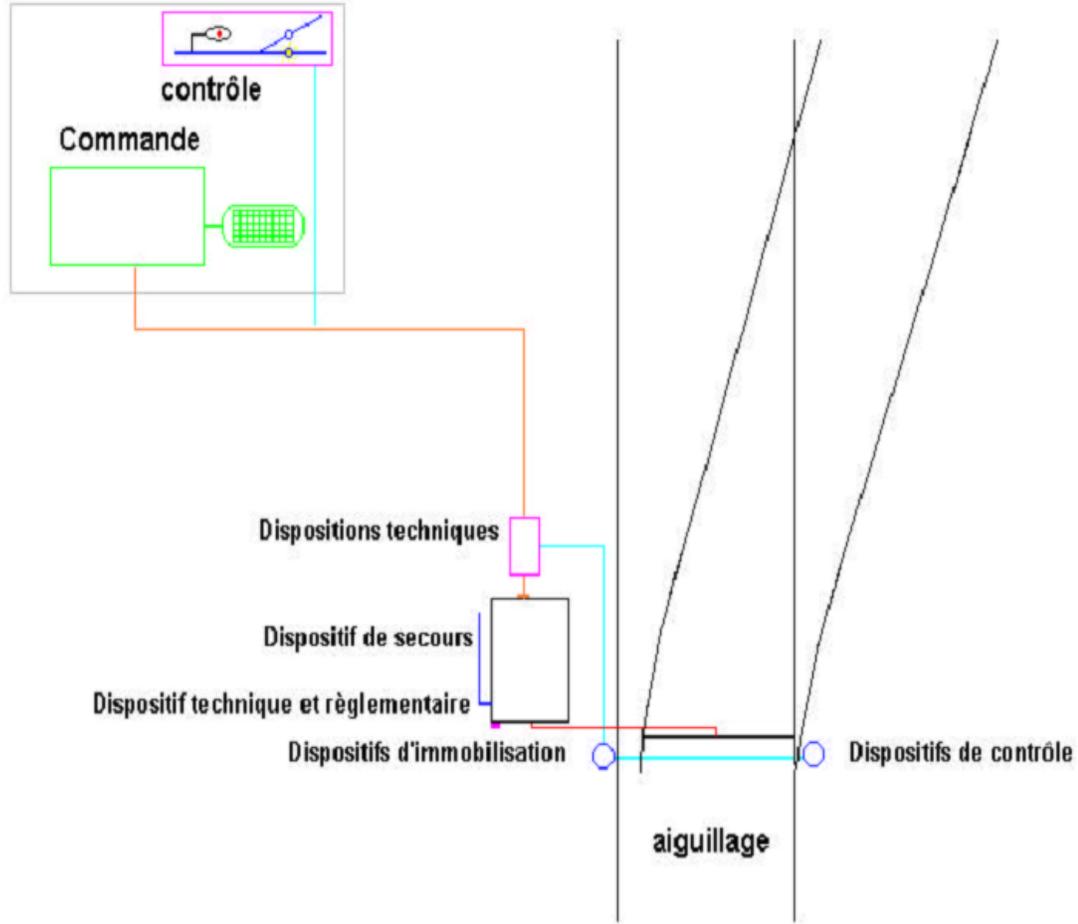


Fig. II.4 Système de commande et de contrôle d'aiguille

3. Les zones isolées

Les compteurs d'essieux et les Circuits De Voie permettent de connaître avec une bonne précision la position des trains et des circulations, afin de faire fonctionner le système ferroviaire (exploitation des installations, fonctionnement des enclenchements et des automatismes), et de pouvoir appliquer la réglementation (gestion des situations dégradées).

3.1 Circuits de voie (CDV)

Le circuit de voie doit détecter immédiatement la présence d'un essieu en tout point de la zone isolée. Il permet aussi de vérifier la continuité mécanique et électrique de cette zone.

- Principe de fonctionnement

Tout circuit de voie est constitué d'une source (émetteur), d'une ligne de transmission (les rails), et d'un récepteur. En l'absence de circulation, le signal reçu par le récepteur est suffisant,

la voie est libre; en cas de véhicules sur la zone, les essieux des trains court-circuitent (shuntent) la ligne de transmission, le signal reçu par le récepteur est affaibli, la voie est occupée.

- Limites du circuit de voie

En fonction de son rôle le CDV doit parfois être délimité avec une grande précision.

La portion de voie contrôlée peut être délimitée à ses extrémités par :

- des joints isolants qui interrompent la continuité électrique et mécanique de la voie,
- des joints électriques de séparation qui bloquent certaines fréquences en fonction de l'accord du circuit bouchon,
- des shunts résonnants.

3.2 Les compteurs d'essieux

- Principe de fonctionnement

Pour connaître l'état d'occupation d'une partie de voie, le système compte le nombre d'essieux à l'entrée de la portion de voie et à la sortie. Si ce nombre est le même, il y a « coïncidence » la voie est libre, sinon elle est considérée occupée (ou il y a un dérangement).

- Cas d'utilisation
 - Lorsque la voie ne permet pas l'utilisation de CDV (Traverses métalliques ou ballast pollué),
 - Sur les lignes équipées en BAPR,
 - En zone de gare où le fonctionnement du CDV n'est pas assuré,
 - Par soucis d'économie.

4. Les enclenchements

Un enclenchement peut être réalisé mécaniquement ou électriquement, il matérialise physiquement, dans la zone d'action d'un poste d'aiguillage, une incompatibilité de manœuvre entre différents organes de commande d'appareils de voie ou de signaux dans le but de n'autoriser le passage d'un mouvement que lorsque toutes les conditions de sécurité nécessaires à ce mouvement sont réalisées.

Les différents types d'enclenchements sont : enclenchement d'approche, de parcours, de proximité, des aiguillages et de poste à poste.

4.1 Risques inhérents aux circulations ferroviaires couverts par les enclenchements

Dans un poste d'aiguillage, les enclenchements matérialisent l'obtention de l'ensemble des conditions suivantes avant de libérer l'organe (levier ou relais de commande) du signal commandant l'itinéraire afin qu'il puisse être mis en position **ouvert** :

- Les appareils de voie (aiguilles et taquets) ou les signaux protégeant le passage à établir, sont dans la position interdisant tout engagement intempestif de gabarit, (protection contre les prises en écharpe),
- Les appareils de voie du passage sont placés dans la bonne position, (continuité du passage),
- La protection contre des mouvements de sens contraire est assurée, (nez à nez),
- Les autres conditions particulières au poste (barrières de passage à niveau fermées, etc.) sont réalisées.

L'organe de commande du signal autorisant le passage, une fois mis en position « **signal ouvert** », interdit, — dans le cas d'un poste mécanique, par la réciprocité des enclenchements obtenue de construction— toute manœuvre intempestive des appareils concernés par le passage en cours. Cette interdiction matérielle subsiste tant que l'organe de commande du signal est laissé dans sa position « signal ouvert ».

Cependant, l'organe de commande du signal peut être remis dans sa position « **signal fermé** » dès son franchissement par le mécanicien. Il résulte de cette disposition que les enclenchements réalisés par l'organe en position « **signal ouvert** » disparaissent alors que l'itinéraire est encore parcouru. Des enclenchements complémentaires, réalisés électriquement, prennent le relais et continuent d'assurer la continuité et la sécurité du passage (enclenchement de zone isolée d'aiguille ou enclenchement de transit).

4.2 Mode de réalisation des enclenchements

Selon le type de poste les enclenchements peuvent agir mécaniquement ou électriquement.

- **Dans un poste d'aiguillage mécanique**

Dans un poste mécanique, les enclenchements nécessaires à la sécurité des passages sont réalisés mécaniquement entre les différents leviers du poste. Si le poste mécanique comporte des

commandes électriques, les enclenchements mécaniques sont complétés par des enclenchements électriques. Ces enclenchements agissent soit sur le levier qu'ils immobilisent dans l'une ou l'autre position, soit directement sur le circuit de commande du signal.

- **Dans un poste d'aiguillage électrique « tout relais »**

Les enclenchements, essentiellement électriques, agissent directement sur le circuit de commande de l'appareil ou de l'itinéraire. Le poste « **tout relais** » comporte très souvent des points de manœuvre en campagne où il est fait usage d'enclenchements mécaniques.

- **Dans un poste d'aiguillage informatisé**

Dans les postes où la sécurité est obtenue par une logique de commande et de contrôle entièrement informatique telle que le PIPC, les enclenchements mis en place, qui restent de même nature que dans les autres postes et qui couvrent les mêmes risques, sont réalisés par des systèmes informatiques redondants.

4.3 Les enclenchements mécaniques

On les trouve non seulement dans les postes d'aiguillage de type mécanique mais aussi dans tous les points de manœuvre en campagne d'une gare ou en pleine voie, que le poste d'aiguillage qui contrôle ce point soit mécanique ou électrique.

Il existe plusieurs types d'enclenchements mécaniques :

- L'enclenchement par toc,
- L'enclenchement par serrures et clés,
- La serrure individuelle,
- La serrure centrale d'enclenchement.

4.4 Les enclenchements électriques

Il existe deux types d'enclenchements électriques :

- Enclenchements agissant sur levier par l'intermédiaire d'un verrou de levier,
- Enclenchements agissant directement sur le circuit de commande.

5. Poste d'aiguillage informatique à technologie PC

Le Poste Informatique à technologie PC est à l'origine conçu pour réaliser une commande centralisée de petites gares de type voie de gauche (VG) sur des lignes à une seule voie banalisée et à faible trafic. Le PIPC a été complété pour pouvoir réaliser les fonctionnalités d'un poste à commande d'itinéraires et permet, de ce fait, de traiter d'autres types de gares que la VG. La partie « campagne » est réalisée classiquement (relais). [6]

Il peut être mis en œuvre pour un poste local ou comme commande centralisée de voie banalisée. Il peut être commandé à partir d'une interface de commande / contrôle propre au PIPC appelée MADPI.

Il peut également commander les voies de service qui sont en relation directe avec les voies principales.

De conception, le PIPC permet la transparence des interventions de maintenance vis-à-vis de l'exploitation du poste. Il est doté d'un système d'aide à la maintenance qui est prévu à être interfacé avec les systèmes de télésurveillance.

5.1 Poste local

Il est constitué d'un module d'enclenchement informatique (MEI) et d'une interface de commande et de contrôle. Sa capacité permet de l'utiliser dans la plupart des situations rencontrées: poste d'aiguillage de voie unique, poste de double voie, poste de bifurcation, poste d'évitement, mais aussi gare moyenne jusqu'à une centaine d'itinéraires.

5.2 Commande centralisée de voie banalisée

Cette commande centralisée est constituée de plusieurs MEI, jusqu'à 8 au maximum, reliés entre eux par une transmission informatique de sécurité (TIS) et commandés à partir d'une interface de commande / contrôle qui peut être installée en un point quelconque de la ligne.

Afin de mettre en évidence les différents éléments constituant le système ferroviaire, un exemple d'une petite gare est donné ci-dessous.

6. Description du schéma (Fig. II .5)

Le schéma de la figure II.5 représente une gare à simple voie constitué des aiguilles (AG), des signaux C (signal carré), Av (avertissement) et des zones délimitées par les compteurs d'essieux.

Cette gare est parcourue par deux trains de sens différents, les dispositifs qui la constituent aident les mécaniciens à orienter leur locomotives en étant sûre que la voie est complètement libre, accessible et à l'abri de tout danger.

A l'aide du poste d'aiguillage informatique le traçage des itinéraires se fait à distance, cette procédure est accompagnée sur le terrain par le système de signalisation qui s'effectue automatiquement suivant les étapes suivantes :

1^{er} étape :

Zones	Aiguilles	signaux
Zone 1 : occupée	AG1 : position droite	C1 : ouvert
Zone 2 : libre	AG2 : position gauche	C2 : fermé
Zone 3 : occupée	AG3 : position gauche	C3 : fermé
Zone 5 : libre	AG4 : position gauche	C4 : ouvert
		C5 : fermé
		C6 : fermé

2eme étape :

Zones	Aiguilles	signaux
Zone 1 : occupée	AG1 : position droite	C1 : fermé
Zone 2 : libre	AG2 : position droite	C2 : fermé
Zone 3 : occupée	AG3 : position droite	C3 : ouvert
Zone 5 : libre	AG4 : position gauche	C4 : fermé
		C5 : ouvert
		C6 : fermé

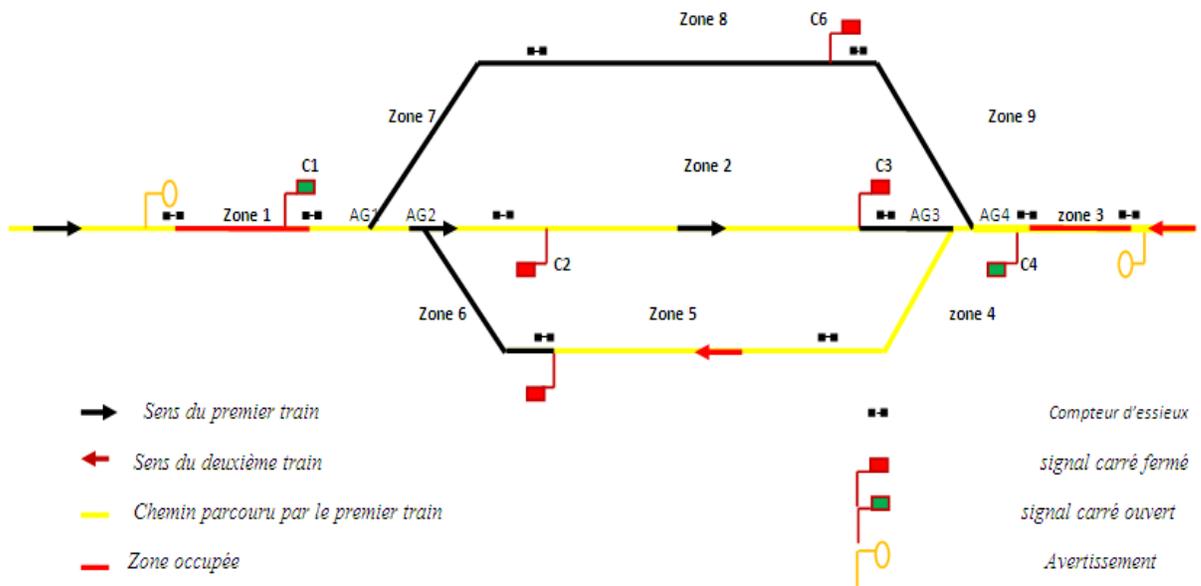


Fig. II.5 Exemple d'une gare parcouru par deux trains de sens différents (1^{ère} étape)

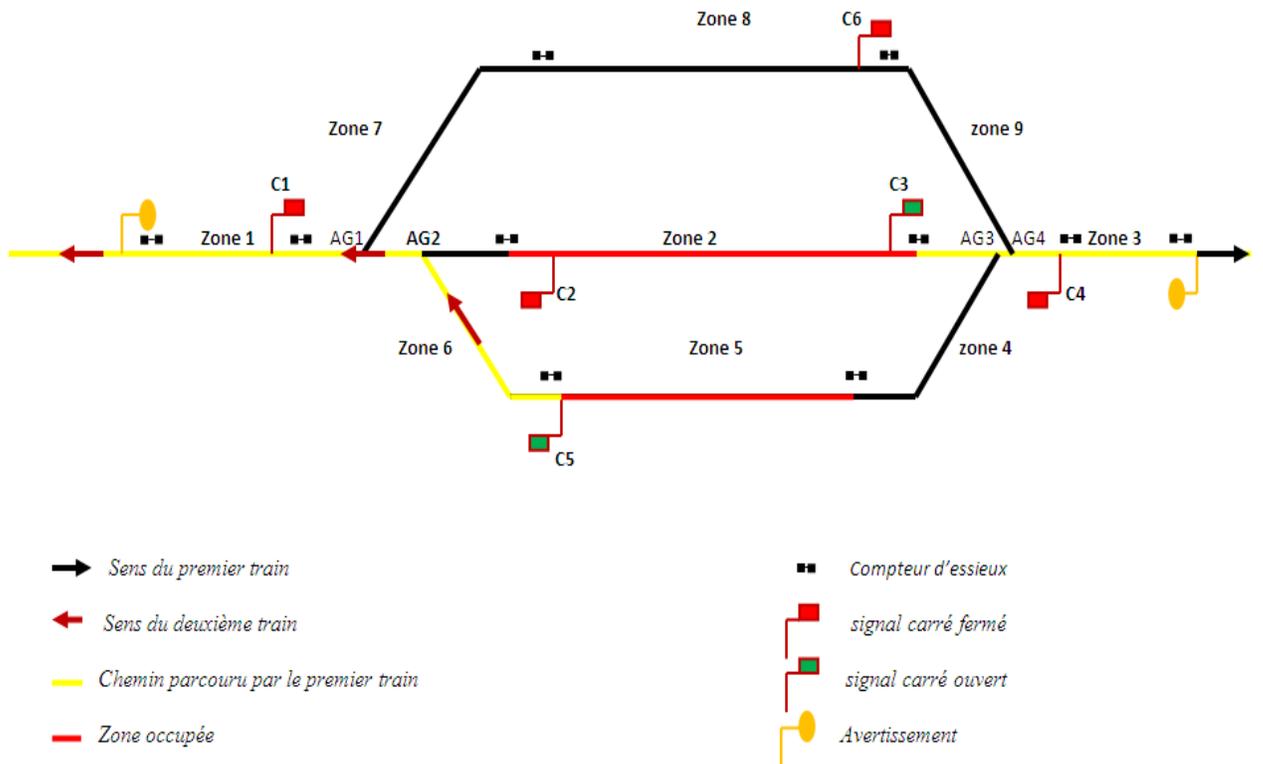


Fig. II.6 Exemple d'une gare parcouru par deux trains de sens différents (2^{ème} étape)

Chapitre III Etapes de vérification et validation des installations de sécurité ferroviaire

Le cycle en V que nous avons étudié dans le 1^{er} chapitre peut s'appliquer sur n'importe quel système, en l'occurrence dans les systèmes ferroviaires. Le cycle ci dessous met en évidence les différentes étapes du projet de modernisation de signalisation ferroviaire allant du cahier de charge jusqu'à la mise en service.

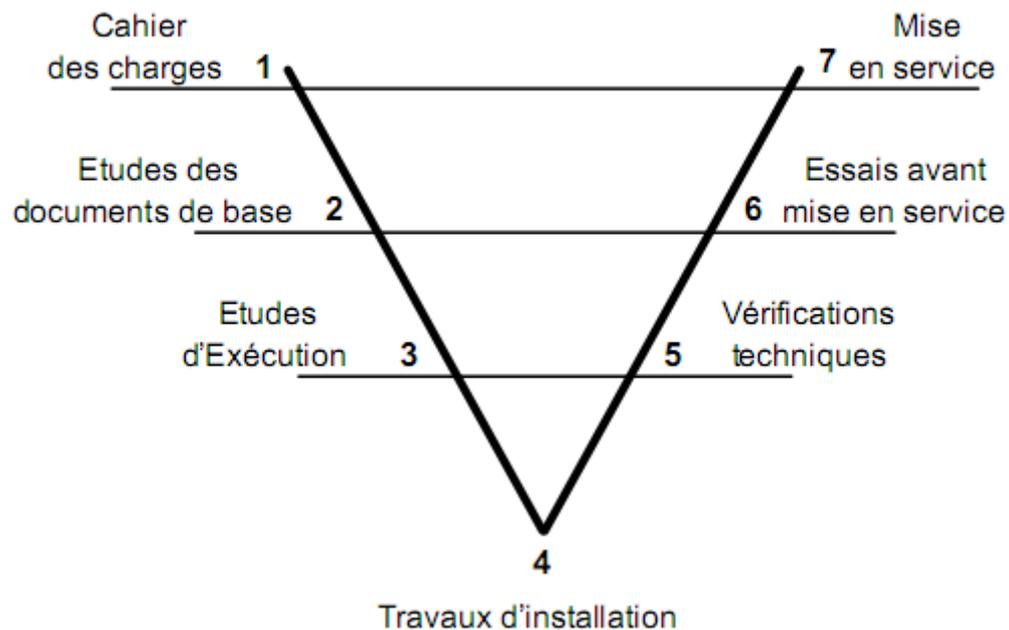


Fig. III.1 Cycle en V

Les vérifications et validations se font dans la partie ascendante du cycle en « V ». Les principales étapes qui constituent cette partie sont les suivantes :

- contrôle qualité,
- vérification technique,
- et essais avant mise en service.

1. Définition

1.1 Contrôle qualité

Le contrôle qualité des installations de signalisation est constitué de l'ensemble des opérations destinées à apprécier la conformité des installations par rapport aux schémas d'exécution, aux procédures d'installation et aux normes.

1.2 Vérification technique

Les vérifications techniques des installations de signalisation sont constituées de l'ensemble des opérations destinées à obtenir la certitude que les installations de signalisation sont matériellement aptes à assurer leur fonction de sécurité.

1.3 Essais avant mise en service

Les essais se basent principalement sur un cahier d'essais servant de guide aux techniciens et prouvant l'exhaustivité des vérifications effectuées pour valider une installation de sécurité avant sa mise en service.

2. Planification

2.1 Planification des vérifications et contrôles qualité

Pour obtenir une bonne traçabilité des opérations de contrôle et de vérifications techniques il faut passer par les points suivants :

- préparation documentaire préalable des opérations,
- liste des points de contrôle,
- liste des points de vérifications techniques,
- collectage méthodique des non-conformités, en utilisant la documentation appropriée constituée :
 - du dossier des contrôles et des vérifications techniques,
 - du catalogue des fiches « spécimen »,
 - de la fiche de non-conformité.

Un programme des vérifications techniques doit être mis au point sur la base d'une confrontation détaillée et exhaustive de l'installation avec l'ensemble de sa documentation qui est constituée des :

- Documents de base telle que les plans techniques, les PV (procès-verbal) pour la vérification de l'implantation des postes, des points de manœuvre, des caractéristiques des signaux,...
- Documents d'exécution concernés pour la vérification de l'identité des appareils mis en œuvre, la vérification de la conformité du câblage, la vérification des circuits en fonctionnement (coupure bipolaire,...), la vérification de l'implantation des joints de circuits de voie...
- Documents techniques (consignes, notices générales) concernant les matériels mis en œuvre pour la vérification des réglages, étalonnages et mesures, de l'isolement, des tensions, des temporisations, de l'orientation des feux...etc.

Le programme doit prendre en compte les contrôles exécutés par les entreprises titulaires du marché.

Au cours de la réalisation pratique de ce programme, deux situations de vérifications peuvent être rencontrées.

➤ Aucune mise en fonctionnement des installations n'est nécessaire. Les vérifications concernent la conformité de câblage, l'identité et relevé de matériels, ...

➤ La mise en fonctionnement d'installations isolées ou de parties d'installations. Les vérifications permettent alors de s'assurer de la conformité de l'installation et de son bon fonctionnement en regard de sa documentation technique spécifique (étalonnages CDV, réglage et contrôle de l'isolement des postes, télétransmissions...etc.)

2.2 Domaines d'applications

Les vérifications techniques et le contrôle qualité concernent les huit domaines suivants :

- l'implantation,
- la pose,
- le repérage,
- la conformité détaillée de réalisation,
- les mesures et réglages d'ordre électrique et mécanique,
- les opérations diverses, le plombage, le cadenasement,
- l'approvisionnement du petit matériel,
- la documentation à produire.

Ces divers domaines sont détaillés et répartis dans des fiches de vérifications techniques et dans des fiches de contrôle qualité pour tout ou en partie selon le besoin.

2.2.1 Implantation

Vérification de la position géographique et du respect du gabarit de l'implantation des signaux, postes, points de manœuvre, détecteurs, joints de CDV, éléments des transmissions rigides et funiculaires...etc.

2.2.2 Pose

Vérification de la qualité de la mise en œuvre, de la qualité mécanique et du respect des cotes de pose.

2.2.3 Repérage

Vérification du repérage fonctionnel et d'identification de l'installation ainsi que du repérage spécial de sécurité éventuel.

2.2.4 Conformité détaillée de réalisation

Cette rubrique comprend la vérification de la qualité des éléments constitutifs, de l'assemblage mécanique et électrique de l'installation, ainsi que du repérage détaillé des éléments qui la composent.

Pour les installations électriques la vérification porte sur :

- la conformité de l'emplacement et de l'identité des appareils mis en œuvre en référence aux documents d'exécution (platines pré câblées, matériels de CDV, relais, clignoteurs, temporisateurs, résistances, condensateurs, transformateurs, etc.),
- la conformité de câblage.

Les vérifications doivent permettre de s'assurer que le câblage de l'installation est réalisé suivant les directives techniques en vigueur, les règles de l'art et conformément aux documents d'exécution. Pour cela il convient de procéder au « fil à fil » et au comptage sur bornes.

- Le fil à fil

Avant le raccordement des conducteurs :

- vérifier l'exactitude des indications portées par les dispositifs de repérage (embouts, bagues, étiquettes, trous passe fil,...),
- vérifier la continuité de chaque conducteur conformément aux documents d'exécution avec pointage de ces derniers et les confronter avec les schémas « étiquettes » qui seront cochés simultanément.

Après raccordement des conducteurs :

- vérifier, sur les appareils, la correspondance entre chaque borne des appareils et le ou les conducteurs qui y aboutissent.
- Le comptage sur bornes

Cette opération consiste à compter les fils raccordés à chaque borne des appareils (éléments de raccordement, de sectionnement, relais, résistances...) et de confronter le résultat avec les indications portées sur les documents d'exécution.

2.2.5 Mesures, réglages électriques et mécaniques

Réalisation des mesures, réglages et étalonnages divers autres que ceux portés sur les fiches de maintenance. Par exemple les réglages de certains appareils (minuteries, contrôleurs de lame d'aiguille, course de manœuvre d'aiguille, détecteurs...).

2.2.6 Opérations diverses, plombages, cadenasements

En « opérations diverses », la vérification porte sur :

- la mise en fonctionnement de certains éléments, par exemple les détecteurs de défaut d'isolement,
- la vérification de bon fonctionnement, par exemple des dispositifs d'annulation des verrous et des serrures électromécaniques et des appareils commandés (aiguilles, verrous, appareils de calage, taquets, signaux,...),
- la vérification de l'efficacité des enclenchements réalisés, par exemple l'enclenchement des verrous et des serrures électromécaniques.

2.2.7 Approvisionnement de matériel

La vérification concerne l'approvisionnement sur site du « petit matériel » notamment les fusibles, barrettes, diodes...etc.

2.2.8 Documents

La vérification doit permettre de s'assurer de la présence de l'ensemble de la documentation qui doit être produite ou collectée.

Pour les installations électriques les documents sont constitués des fiches de maintenance des circuits de voie, des batteries d'accus, d'isolement des installations raccordées, d'isolement des câbles, de remplacement de lampes de signaux lumineux, de crocodiles, de prises de terre...etc.

Pour les installations mécaniques, les documents sont notamment les fiches de maintenance, les fiches de vérification des enclenchements,...

Pour les installations mécaniques, d'autres documents doivent être collectés :

- les certificats de conformité,

- les fiches de contrôle...etc.

2.3 Planifications des essais

Les essais avant mise en service se divisent en trois parties qui sont :

- les essais plate-forme,
- les essais campagne,
- les essais poste-campagne. [7]

2.3.1 Les essais plate-forme

Cette phase consiste à tester le paramétrage et c'est une remise de cause des plans techniques. Cette vérification est réalisé sur une machine cible à l'aide d'un cahier d'essais génériques et de grilles d'essais (Grilles d'essais instancié pour chaque poste est réalisé à partir du seul schéma de signalisation).

2.3.2 Essais campagne

L'ensemble des essais campagne se décompose en essais d'installations indépendantes les unes des autres.ils permettent de vérifier la conformité d'une installation aux documents de base (Principe et plans techniques) correspondants.

2.3.3 Essais poste campagne

- Essais poste campagne (poste local)

Ils permettent :

- d'effectuer le récolement d'installations campagne dont les essais ont été réalisés isolément avec les organes de commande et de contrôle du poste,
- de réaliser des essais « en long » d'installations extérieures et intérieures interconnectées et ayant fait l'objet d'essais élémentaires fractionnés (annonce des signaux,...).

- Essais de télécommande depuis le PCC (Poste de commande centralisé)

Ces essais consiste à réalisé un certains nombres d'essais et de recollement depuis le poste central, temps de réponse, animation IHM (Interface homme machine), télécommande des aiguilles depuis le poste central, essais inter postes (prise de sens, vérification des données échangées, etc.).

Ces essais permettent aussi l'intégration de tous les systèmes télécom et signalisation et énergie (L'intégration de l'énergie étant déjà réalisée au niveau de chaque poste).

2.4 Cahiers d'essais

Il existe deux types de cahier d'essais :

- **Le cahier d'essais statiques**

Cette étape est toujours réalisée. Elle consiste à décomposer en étapes parfaitement définies les essais des conditions d'enclenchement et d'ATC (Control de train automatique). Les changements d'état des installations à la voie sont généralement simulés pour s'affranchir des contraintes extérieures.

- **Le cahier d'essais dynamiques**

Il est réalisé uniquement lorsqu'il est nécessaire de vérifier les situations créées par plusieurs trains, de caractéristiques différentes, circulant simultanément dans la zone d'action de l'installation.

2.4.1 Initialisation de la rédaction du cahier d'essais statiques

La rédaction du cahier d'essais statiques d'une installation de signalisation nécessite de disposer des documents d'entrée suivants:

- les documents de référence,
- les spécifications du matériel mis en œuvre,
- les spécifications des logiciels utilisés,
- les spécifications des outils de paramétrage,
- les spécifications relatives aux systèmes d'aide à la maintenance,
- les schémas de principes,
- les plans techniques,
- les documents d'exécution.

2.4.2 Rédaction du cahier d'essais statiques

La rédaction du cahier d'essais statiques doit être confiée à du personnel spécialement formé, ayant une expérience importante en matière d'essais d'installations ferroviaires de

sécurité et possédant une grande autonomie.

Le cahier d'essais est constitué de folios, rassemblés en bordereaux. Il se compose de deux parties :

- Procédures génériques

Elles sont réalisées par une analyse conjointe des schémas de principes et du schéma de signalisation. Elles se présentent sous forme de tableaux, généralement de format A4, comprenant :

- un premier cadre dans lequel est exposé le but de l'essai à effectuer,
- un second cadre servant à définir l'état initial de l'installation pour l'essai considéré. Dans ce cadre peut également être inséré un schéma explicitant la base de construction de la procédure.
- un troisième cadre, divisé en deux colonnes:
 - une colonne " Actions ", indiquant pour chaque étape de l'essai commandes à effectuer, ainsi que le mode de réalisation de ces commandes,
 - une colonne " Vérifications ", indiquant les résultats que les actions effectuées doivent obligatoirement générer.

Une même procédure peut comporter plusieurs folios

- Tableaux de tests

Ils constituent, pour chaque procédure d'essais, sa personnalisation pour un équipement donné. La forme et les dimensions des tableaux de tests varient suivant la nature de l'essai et le nombre de fonctions qu'il concerne.

Les Tableaux de tests sont réalisés en utilisant les Plans Techniques et les études d'exécution pour l'identification des équipements, des fonctions et des borniers.

Ils doivent comporter une colonne permettant de consigner la validation de l'essai, en regard de chaque étape de la procédure générique.

- Étude du simulateur d'essais

Pour la réalisation des essais d'un système de signalisation, il est souhaitable de s'affranchir des sujétions liées aux équipements en campagne car, au moment d'un essai:

- ils ne sont pas toujours disponibles (travaux inachevés, circulation de trains de travaux, etc.),
- leur éloignement ne permet pas de les maintenir dans un état stable (occupation des voies par d'autres disciplines, essais campagne en cours,...etc.).

Il peut être également nécessaire de simuler les informations provenant d'un autre système non encore opérationnel au moment des essais.

Pour permettre de réaliser ces conditions le rédacteur du cahier d'essais statiques devra donner les directives nécessaires pour l'étude d'un simulateur d'essais. Il peut s'agir:

- soit de l'étude de schémas d'exécution simples en vue de la mise en œuvre d'interrupteurs, de boutons-poussoirs et de voyants,
- soit de l'étude plus complexe de " mise en Y " de circuits, dans le cas où l'installation en cours d'essai devrait cohabiter, jusqu'à sa mise en service, avec une installation existante,
- soit de l'écriture de scénarios à dérouler avec un outil informatique.

La vérification de cette étude et la diffusion des documents qui la concrétisent sont soumis aux mêmes règles que celles indiquées pour les autres phases de l'étude.

2.4.3 Vérification du Cahier d'Essais statiques

La vérification des documents constituant le Cahier d'Essais statiques doit être effectué par des personnes ayant une grande expérience des installations de signalisation et des essais les concernant.

2.4.4 Diffusion du cahier d'essais statiques

La diffusion des documents constituant le cahier d'essais statiques doit s'effectuer, après leur validation par le vérificateur.

2.2.5 Organisation de la rédaction du cahier d'essais dynamiques

La rédaction du cahier d'essais dynamiques comprend les étapes suivantes:

- initialisation de l'étude,
- rédaction du cahier d'essais dynamiques,
- vérification du cahier d'essais dynamiques,
- édition des documents.

2.4.6 Initialisation de la Rédaction du Cahier d'Essais dynamiques

La rédaction du Cahier d'Essais dynamiques d'une Installation de signalisation nécessite de disposer des documents d'entrée suivants:

- les documents de référence,
- les spécifications du matériel mis en œuvre,
- les spécifications des logiciels utilisés,
- les spécifications relatives aux systèmes d'aide à la maintenance,
- les Plans Techniques,
- les documents d'exécution,
- le cahier d'essais statiques.

2.4.7 Rédaction du cahier d'essais dynamiques

La rédaction du cahier d'essais dynamiques doit être confiée à du personnel spécialement formé, ayant une expérience importante en matière d'essais d'installations ferroviaires de sécurité et possédant une grande autonomie.

Le cahier d'essais dynamiques comprend:

- une notice, dans laquelle sont précisés:
 - les limites du domaine d'essais,
 - la composition des trains utilisés pour les essais,
- les moyens de communication nécessaires
- des fiches d'essais, indiquant pour chaque essai:
 - son but,
 - les moyens humains et matériels nécessaires,
 - la liste des textes réglementaires applicables,
 - les étapes successives de l'essai (procédure).

- un tableau permettant de consigner les résultats obtenus à chaque étape de l'essai.

La circulation des trains d'essais peut être représentée par des graphes faisant apparaître les jalons d'observation des résultats.

2.4.8 Vérification du cahier d'essais dynamiques

La vérification des documents constituant le cahier d'essais dynamiques doit être effectuée par des personnes ayant une grande expérience des installations de signalisation et des essais les concernant.

2.4.9 Diffusion du cahier d'essais dynamiques

La diffusion des documents constituant le cahier d'essais dynamiques doit s'effectuer, après leur validation par le vérificateur.

2^{ème} Partie

Compteur d'essieux

Chapitre I Présentation du compteur d'essieux AzLM

L'accroissement du trafic ferroviaire a rendu nécessaire la division de la voie en tronçons ayant une distance limitée afin de diminuer la complexité de la gestion de la circulation. Différents dispositifs ont été alors mis en place pour assurer cette tâche, parmi lesquelles on cite le **Circuit de Voie** (CDV) et le **compteur d'essieux** qui représente une alternative moderne du cdv et qui fera l'objet de notre étude.

1. Présentation du CDV

C'est un circuit électrique utilisant les deux rails de la voie comme support de transmission pour alimenter un récepteur. Lors du passage d'un train le circuit est shunté par les essieux provoquant une chute de tension au niveau du récepteur. La présence d'un train est alors détectée.

Afin de distinguer entre les zones, des joints isolants sont placés aux extrémités de chaque zone interrompant ainsi la continuité électrique et mécanique de la voie.

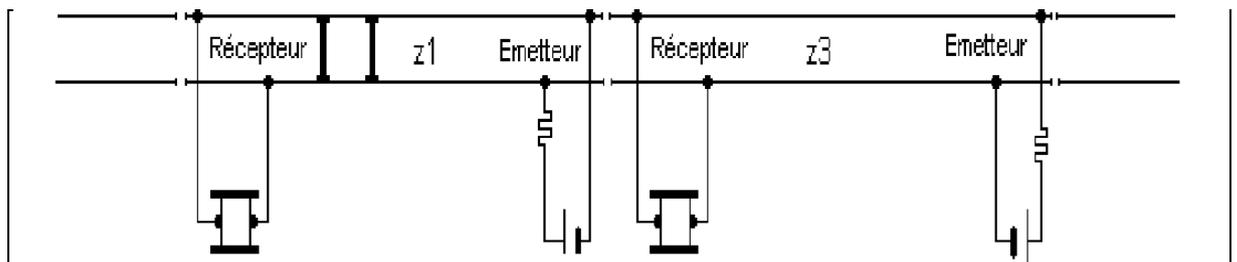


Fig. I.1 Modèle électrique du circuit de voie

Cependant dans certains cas l'utilisation de ce dispositif n'est pas possible ou est défavorable. Le compteur d'essieux a été alors développé pour surmonter les limites d'utilisation du CDV.

2. Le compteur d'essieux

- **Définition**

C'est un dispositif de chemin de fer appartenant au système de signalisation ferroviaire et servant à la détection de la présence ou non d'un train dans un tronçon de ligne. Cette tâche est réalisée par comptage des essieux franchissant les détecteurs qui encadrent la zone.

- **Cas d'utilisation**

Il est utilisé dans les cas suivants :

- lorsque la voie ne permet pas l'utilisation de CDV (traverses métalliques ou ballast pollué),
- sur les lignes équipées en BAPR (block automatique à permissivité restreinte),
- en zone de gare où le fonctionnement du CDV n'est pas assuré,

2.1 Connaissance du matériel [8]

Le compteur d'essieux est un produit développé par Thales dans le cadre de l'amélioration de la sécurité dans le transport ferroviaire. Il porte le nom de « **Compteur d'essieux AzLM** ».

Il contient :

- une installation intérieure,
- une installation extérieure.

2.1.1 Installation intérieure

- **Châssis**

C'est un boîtier (avec panneau arrière) à l'intérieur duquel sont enfichées les diverses cartes. A l'arrière de ce dernier se trouvent les raccords qui peuvent être utilisés pour le câblage vers l'installation extérieure et le poste d'enclenchement. [8]

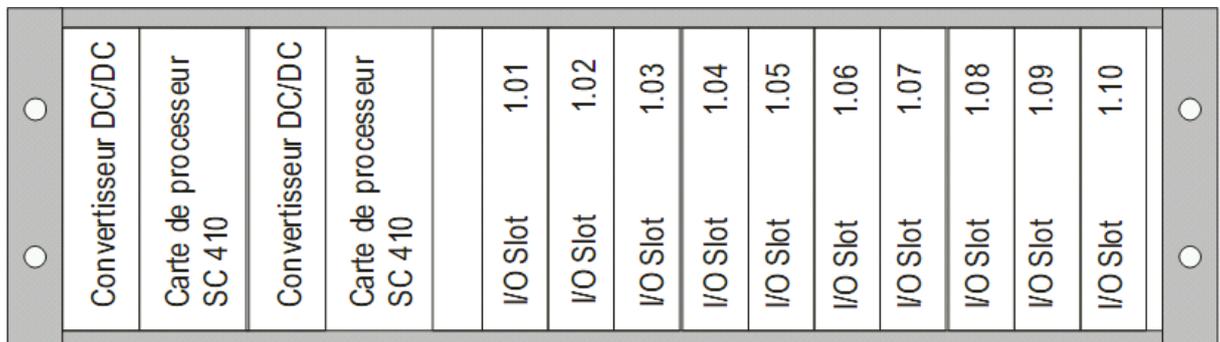


Fig. I.2 Châssis

- **Alimentation électrique**

-
- Convertisseur DC/DC 48-60V/5V/+12V
- DC-DC Wandler 60V/5V/+12V
- ZP-StrV (GWN 48-60V/110V/1,8 -1)

- **Transmetteur de ligne**

Le transmetteur de ligne (LÜ) sert de protection contre les surtensions, à la séparation galvanique du câblage extérieur du câble du poste d'enclenchement ainsi qu'au couplage de la tension continue dans les lignes de données.

- **Fusible à Transmetteur de ligne**
- **Carte processeur Embedded Pentium (EP)**

La carte processeur consiste en un ordinateur qui évalue les signaux RNIS du calculateur au point de comptage. On utilise deux processeurs qui évaluent les informations RNIS du calculateur au point de comptage indépendamment l'un de l'autre, les comparent et transmettent aux interfaces l'information d'annonce de libération de la voie.

- **Calculateur au point de comptage RNIS**

Le calculateur au point de comptage RNIS reçoit les données en provenance des installations extérieures. Les données sérielles de l'interface RNIS du boîtier de raccordement électronique EAK30H sont démodulées, converties en fonction du protocole et transmises aux cartes processeurs.

- **Interface parallèle**

Sur l'interface parallèle se trouvent les contacts de relais pour la délivrance du message de libération ou d'occupation ainsi que l'entrée pour la remise à zéro. Une unité est nécessaire par tronçon. Elle occupe un emplacement dans le châssis.

2.1.2 Installation extérieure

L'installation extérieure est constituée d'un ou de plusieurs dispositifs de comptage. Chaque dispositif de comptage (EWST) est relié à l'installation intérieure par l'intermédiaire d'une paire de câbles et comprend un double contact de rail SK-30H, le boîtier de raccordement électronique EAK30H et l'unité électronique E-Es30H.

- **Le boîtier de raccordement électronique EAK30H**

Le boîtier de raccordement électronique EAK30H est constitué de l'unité électronique E-Es30H dotée des émetteurs/récepteurs pour les contacts de rail « Sk1 » et « Sk2 » du dispositif de comptage, avec convertisseur DC/DC et adaptateur de ligne. Il relie l'installation intérieure au double contact de rail et sert d'interfaces à la tension d'alimentation et des impulsions des roues.

➤ Unité électronique E-Es30H



Fig. I.3 Unité électronique E-Es30H

Elle est constituée des éléments suivants :

- Filtre CEM



Fig. I.4 Filtre CEM

Le filtre CEM prévient les émissions parasites de l'EAK.

- Evaluation (unité électronique)



Fig. I.5 carte Evaluation

La carte Evaluation est l'interface avec l'installation intérieure. Sur cette carte se trouvent le système d'évaluation du compteur d'essieux et la carte d'interface RNIS.

- Adaptation 120V (unité électronique)

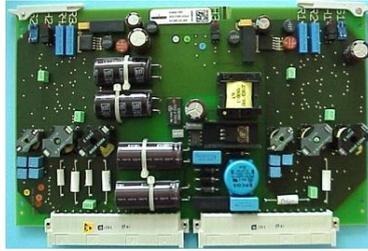


Fig. I.6 Module d'adaptation

Ce module comprend toutes les pièces nécessaires pour le traitement des signaux d'émission et de réception. C'est également ici qu'a lieu l'équilibrage électrique des contacts de rail.

Cette variante permet d'augmenter la puissance d'émission ce qui permet d'augmenter la distance entre EAK et SK d'environ 20 m.

- **Principe de fonctionnement**

La procédure du comptage (décomptage) des essieux est la suivante :

Un double contact de rail « Sk1 » et « Sk2 » montés ensemble dont les têtes émettrices sont montées à l'extérieur du rail et les têtes réceptrices sont montées sur le côté opposé, à l'intérieur du rail. Ainsi les boudins des véhicules sont détectés deux fois, ce qui permet d'en déduire le sens de marche.



Fig. I.7 Double contact de rail « sk1 », « sk2 »

Le contact de rail se compose de deux paires de selfs Sk1 et Sk2 physiquement décalées l'une par rapport à l'autre et montées sur un seul et même rail. Les selfs d'émission, qui sont montées sur le côté extérieur du rail, génèrent tout autour du un champ électromagnétique avec des fréquences légèrement différentes. Sur le côté intérieur du rail se trouvent les selfs de

réception. Ces derniers fournissent deux courbes de tension induites décalées dans le temps qui permettent au système électronique de détecter le passage des roues et le sens de marche.

Après cette présentation du compteur d'essieux AzLM, il est facile de constater que c'est un équipement très riche en fonctionnalités et qui regroupe plusieurs aspects technologiques.

De cette constatation, la deuxième partie de ce projet de fin d'étude devait porter exclusivement sur une étude exhaustive de cet équipement utilisé en signalisation ferroviaire. Cependant, vu sa complexité et le nombre de modules dont il est constitué, une documentation appropriée s'est avérée indispensable pour aboutir à cette fin.

Après plusieurs tentatives auprès du personnel et investigations dans le but d'avoir les documents nécessaires à cette étude, nous n'avons pas pu obtenir le résultat qui répondait à notre besoin pour l'étude du produit AzLM. Il a été donc décidé d'abandonner cette idée à cause des contraintes imposées par le calendrier temporel.

Pour remédier à ce problème, nous avons pensé à la conception d'un système dont le principe de fonctionnement s'inspire de celui du compteur d'essieux. On a abouti alors à une idée très simple et qui fera l'objet de notre étude dans le reste de ce document.

Chapitre II Description du fonctionnement des éléments du système

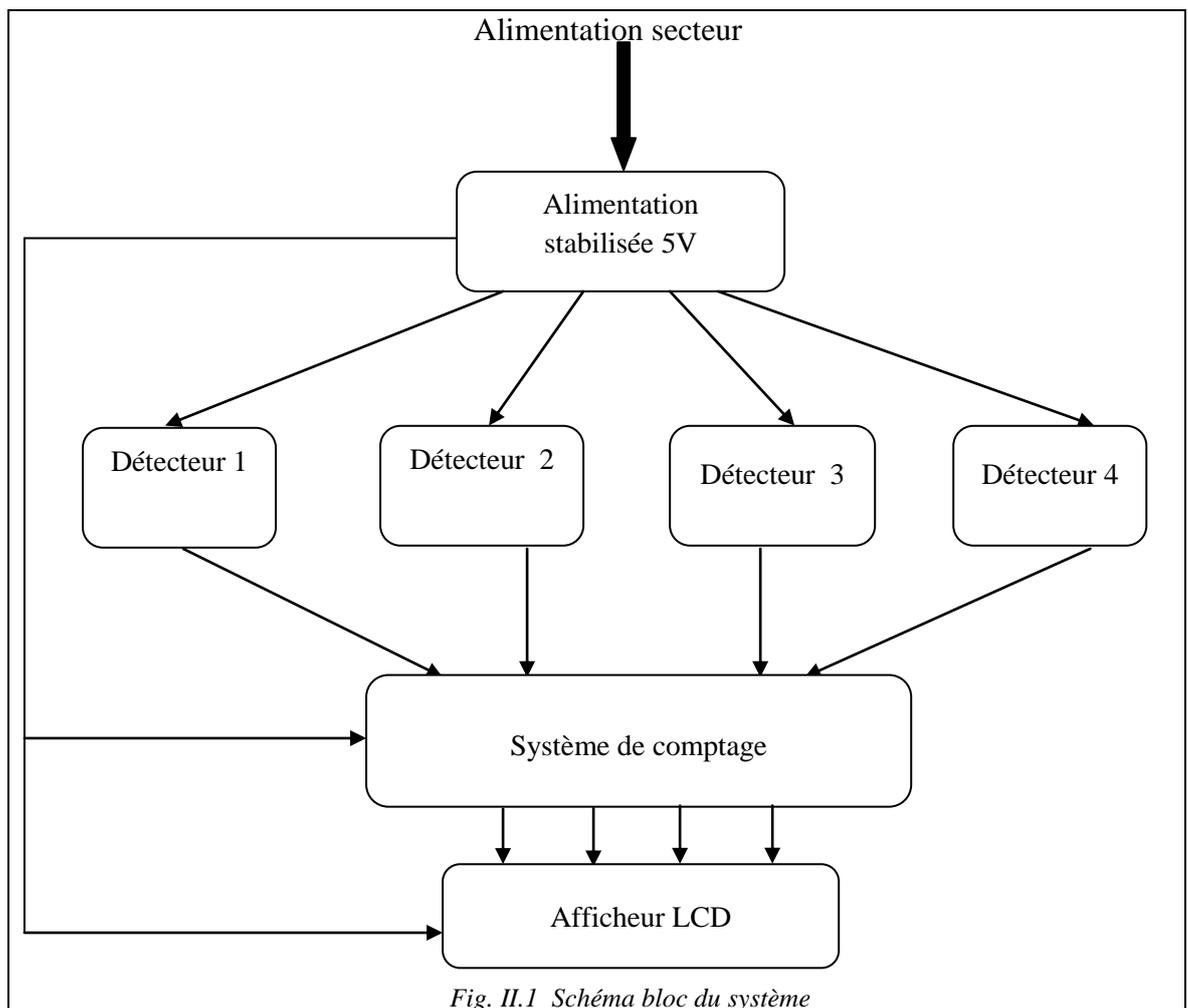
Dans ce chapitre nous allons présenter les différents éléments constitutifs de notre système et décrire leur principe de fonctionnement afin de faciliter l'assimilation de son fonctionnement global.

1. Vue d'ensemble du système

Le système de détection se compose de **4** détecteurs constitués chacun d'un :

- émetteur (**E**) optoélectronique composé d'un **timer555** monté en astable et d'une diode infrarouge qui fournit le signal d'émission,
- récepteur (**R**) optoélectronique représenté essentiellement par le phototransistor qui reçoit le signal lumineux provenant de diode infrarouge.

Il comporte aussi un système de comptage à base de microcontrôleur pour traiter l'information envoyée par le phototransistor afin de délivrer le message d'occupation ou de libération de la zone. Ce message est interprété par un afficheur LCD qui indique l'état de la zone.



2. Alimentation stabilisée

Les circuits électroniques courants ont généralement besoin d'une tension de +5V quand il s'agit de circuits logiques TTL. Une alimentation stabilisée est un montage transformant la tension alternative du secteur en une tension continue.

Une alimentation secteur est composée d'un transformateur, d'un redresseur, d'un filtre et d'une stabilisation/régulation selon les besoins.

- **Le transformateur**

Il sert à transformer la tension alternative du secteur en une tension alternative plus basse ou plus élevée. Dans une alimentation, le transformateur devra, la plupart du temps, abaisser la tension. Pour la distribution d'électricité à haute tension, on aura des transformateurs éleveurs de tension.

Le transformateur est constitué d'un bobinage primaire alimenté en 220V et d'un bobinage secondaire qui va fournir la tension transformée (plus basse ou plus élevée). Les deux bobinages sont enroulés autour d'un circuit magnétique en fer. Le bobinage primaire induit un champ magnétique alternatif dans le circuit magnétique. Dans le secondaire sera induit (effet inverse) un courant par le champ magnétique alternatif. Les tensions primaires et secondaires dépendent du nombre de spires des bobinages.

Le transformateur est caractérisé principalement par ses tensions primaires et secondaires et par la puissance maximale qu'il est capable de fournir U_p , U_s , P_{max} .

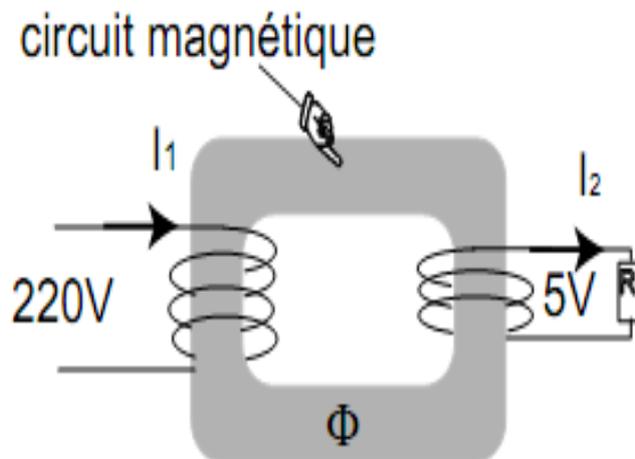


Fig. II.2 Réalisation pratique d'un transformateur

- **La diode**

C'est un composant qui laisse passer le courant dans un sens et pas dans l'autre.

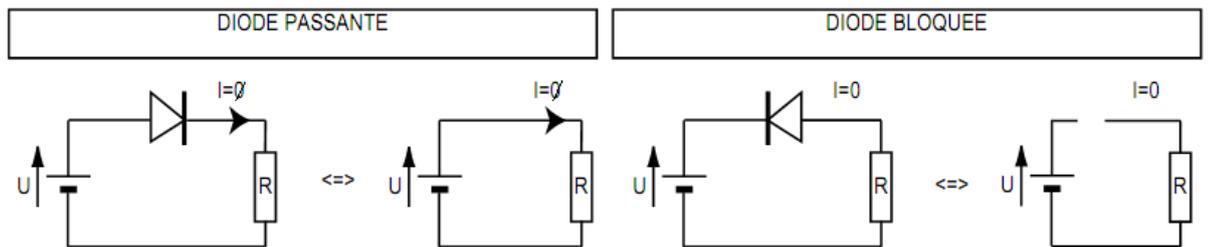


Fig. II. 3 La diode est passante : elle est équivalente à un conducteur de résistance négligeable.
La diode est bloquée, elle est équivalente à un interrupteur ouvert

La diode est principalement caractérisée par le courant à fournir à la charge et la tension inverse de crête appliquée à la diode pendant la période de non-conduction. Exemple: si la tension efficace aux bornes du secondaire est de 5V, la valeur crête (max.) est de 7V, alors la tension inverse de crête que doit supporter la diode est de 14V.

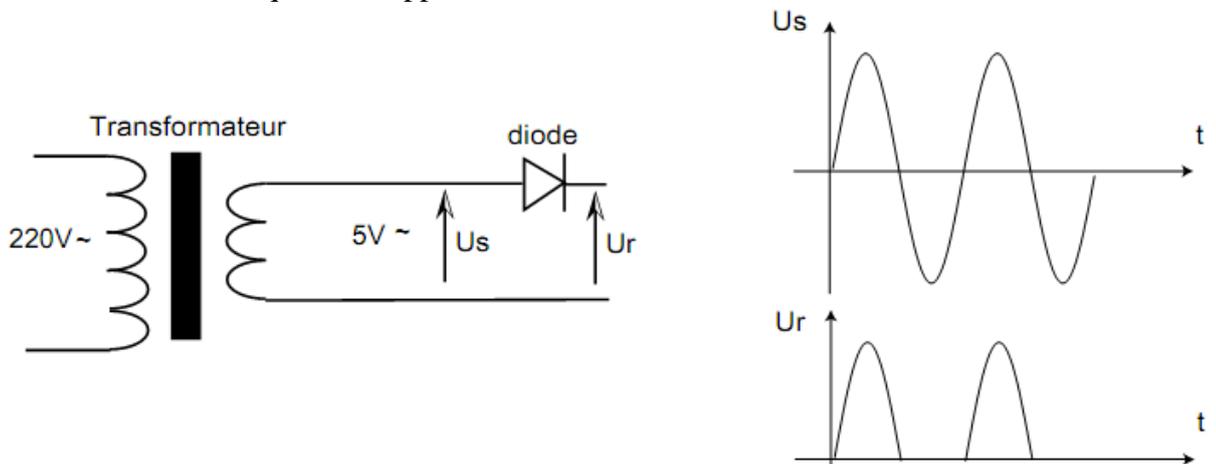


Fig. II.4 La diode dans le schéma de l'alimentation

Lors du redressement mono-alternance, la diode laisse passer l'alternance positive mais pas l'alternance négative. On obtient un courant de sens positif mais, qui est nul pendant la moitié d'une période.

- **Condensateur**

Le condensateur est formé de 2 surfaces conductrices rapprochées mais séparées par un isolant (diélectrique). Lorsque ce dispositif est soumis à une différence de potentiel, des charges de signes différents vont s'accumuler sur les 2 surfaces en présence, sans pouvoir circuler entre les deux plaques.

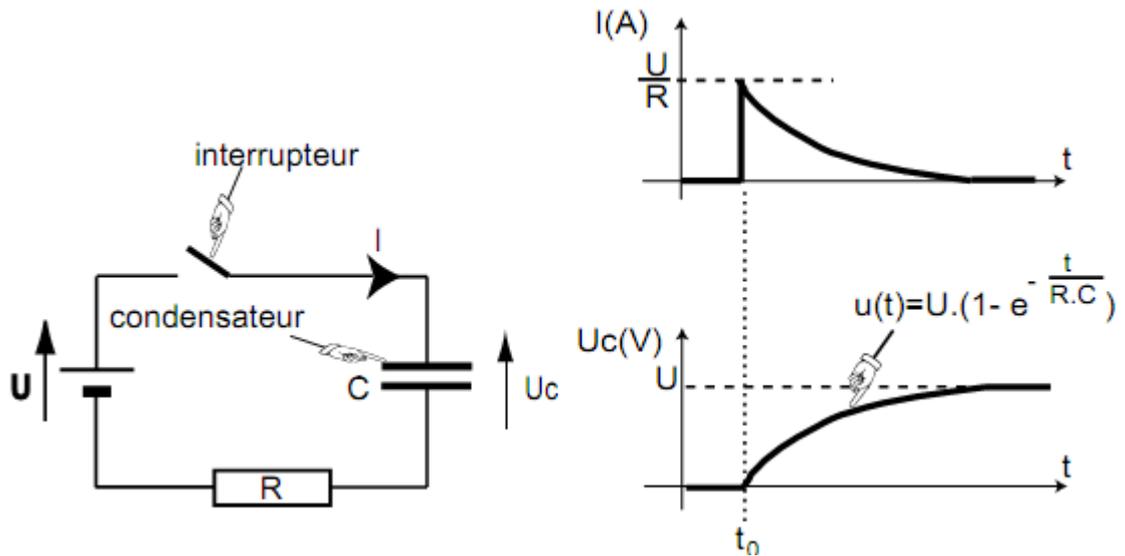


Fig. II.5 Le condensateur dans un circuit électrique

Le condensateur est caractérisé par sa capacité C dont l'unité est le Farad. On utilise, dans la pratique, le mF, uF, le nF et les pF. Le courant i (A) circulant dans un condensateur est régi par une équation différentielle, où V est la tension à ses bornes (V), C la capacité (F), t le temps (s).

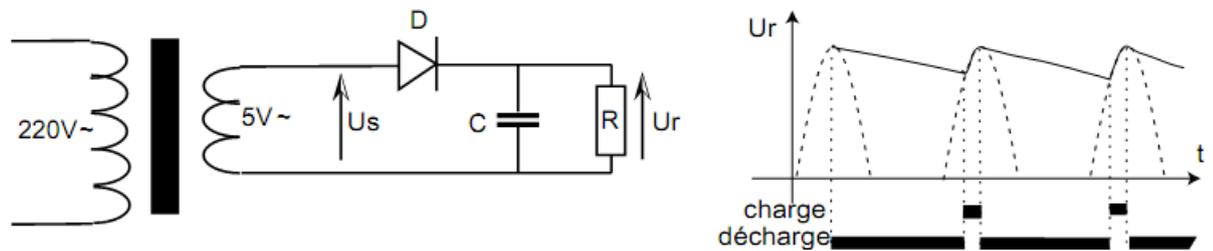


Fig. II.6 Le condensateur dans le schéma de l'alimentation : lissage

Dans le circuit de l'alimentation, le condensateur se charge, lorsque la diode est passante, et il se décharge dans la résistance lorsque la diode est bloquée. Le récepteur R voit alors à ses bornes une tension qui oscille entre une valeur maximale et une valeur non-nulle. La tension a été filtrée c.à.d. que les transitions raides ont été lissées.

- **Améliorations du redressement:**

double-alternance

Le montage suivant décrit comment améliorer le rendement d'un redressement en récupérant l'alternance négative de la sinusoïde, c'est le redressement double-alternance:

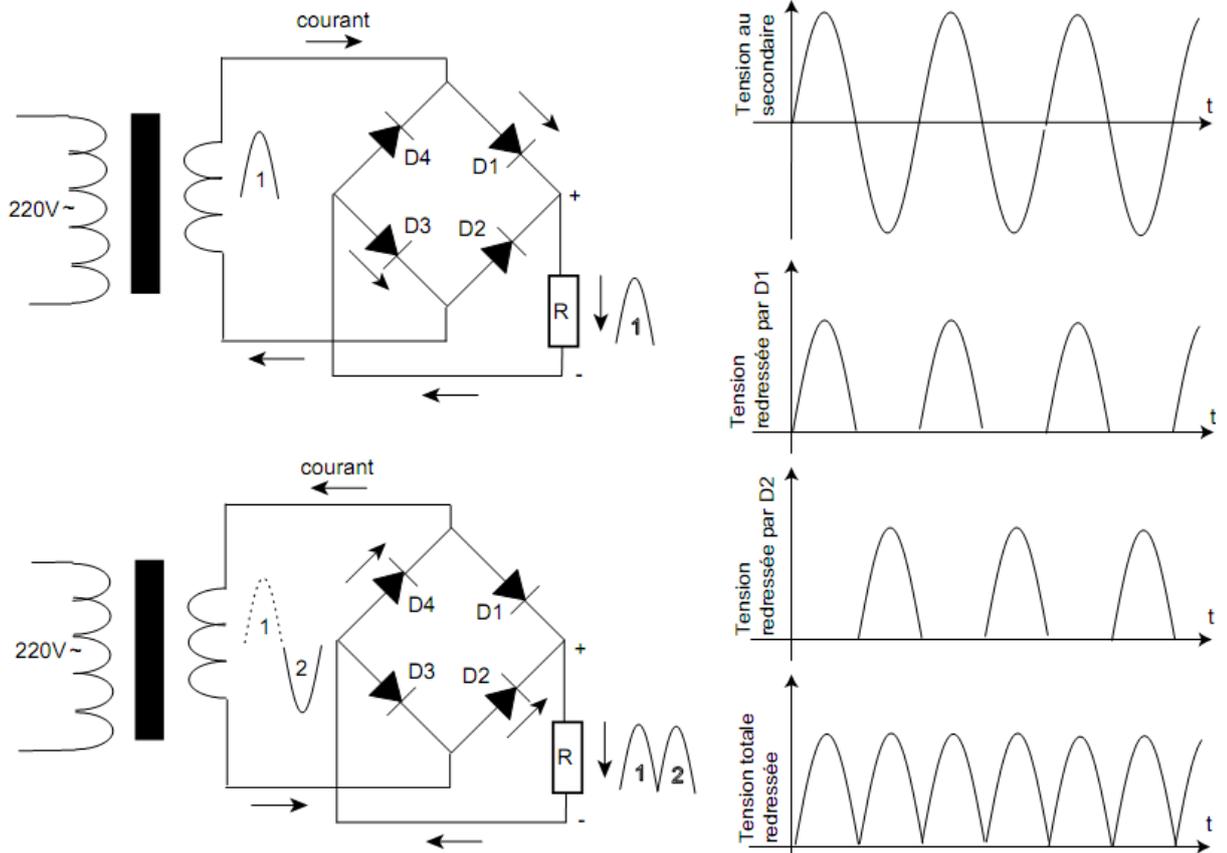


Fig. II.7 Le redressement à double-alternance

Alimentation stabilisée par régulateur

Pour éliminer les ondulations de la tension fournie par un redressement double-alternance filtré et pour stabiliser la tension à une valeur donnée, on insère dans le circuit un circuit intégré régulateur. Par exemple, dans le montage suivant, on utilise un 7805 : régulateur 5V.

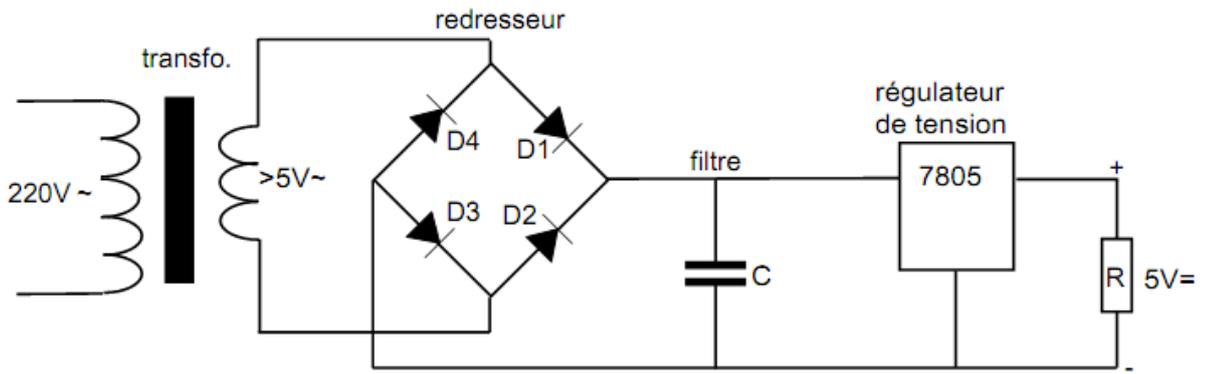


Fig. II.8 Alimentation stabilisée et régulée en tension

3. Le NE555

Le **NE555** (plus couramment nommé **555**) est un circuit intégré utilisé pour la temporisation ou en mode multivibrateur. Il peut fonctionner selon trois modes : monostable, astable ou bistable. [9]

La table suivante présente les broches présentes sur la version simple dans un boîtier DIP.

#	Nom	Description
1	GND	Masse
2	TRIG	Gâchette, amorce la temporisation
3	OUT	Signal de sortie
4	RESET	Remise à zéro, interruption de la temporisation
5	CONT	Accès à la référence interne (2/3 de VCC)
6	THRES	Signal la fin de la temporisation lorsque la tension dépasse 2/3 de VCC
7	DISCH	Borne servant à décharger le condensateur de temporisation
8	VCC	Tension d'alimentation, généralement entre 5 et 15V

Tableau. II.1 Brochage du NE555

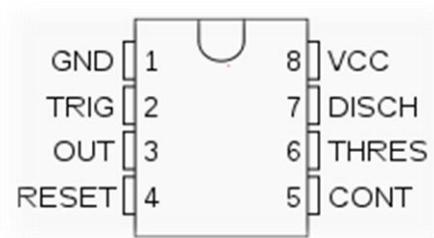


Fig. II.9 Symbole schématique du 555

- **Principe de fonctionnement**

On peut voir à partir du schéma bloc (Fig. II.10) les différents composants du NE555, soit :

- 2 comparateurs
- 3 résistances configurées en diviseur de tension. Les deux tensions respectivement de 1/3 et 2/3 de Vcc servent de références aux comparateurs.
- 1 bascule SET-RESET contrôlée par les comparateurs
- 1 inverseur
- 1 transistor pour décharger le condensateur de temporisation

L'opération du 555 suit la logique de fonctionnement du schéma bloc présenté et peut prendre 4 états différents.

- **Le signal RESET est à un niveau bas** : La bascule est remise à zéro et le transistor de décharge s'active et la sortie reste impérativement à un niveau bas. Aucune autre opération n'est possible.
- **Le signal TRIG est inférieur à $1/3$ de VCC** : la bascule est activée (SET) et la sortie est à un niveau haut, le transistor de décharge est désactivé.
- **Le signal THRES est supérieur à $2/3$ de VCC** : la bascule est remise à zéro (RESET) et la sortie est à un niveau bas, le transistor de décharge s'active.
- **Les signaux THRES et TRIG sont respectivement inférieurs à $2/3$ de VCC et supérieurs à $1/3$ de VCC** : la bascule conserve son état précédent de même que pour la sortie et le transistor de décharge
-

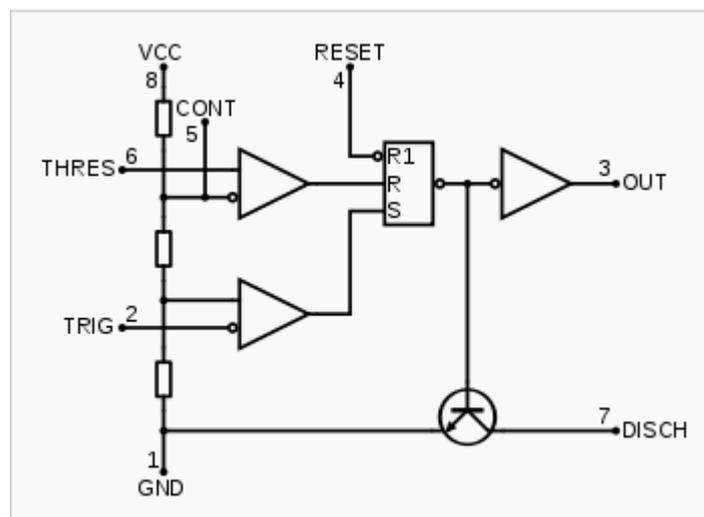


Fig. II.10_Schéma bloc simplifié du NE555

• Fonctionnement astable

La configuration astable permet d'utiliser le NE555 comme oscillateur. Deux résistances et un condensateur permettent de modifier la fréquence d'oscillations ainsi que le rapport cyclique. L'arrangement des composants est tel que présenté par le schéma ci-contre. Dans cette configuration, la bascule est réinitialisée automatiquement à chaque cycle générant un train d'impulsion perpétuelle comme ci-dessous.

Une oscillation complète est effectuée lorsque le condensateur se charge jusqu'à $2/3$ de Vcc et se décharge à $1/3$ de Vcc. Lors de la charge, les résistances Ra et Rb sont en série avec le condensateur, mais la décharge s'effectue à travers de Rb seulement. C'est de cette façon que le rapport cyclique peut être modifié. La fréquence d'oscillations f ainsi que le rapport cyclique α suivent les relations suivantes :

$$f = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b)C}$$

$$\alpha = 1 - \frac{R_b}{(R_a + 2R_b)}$$

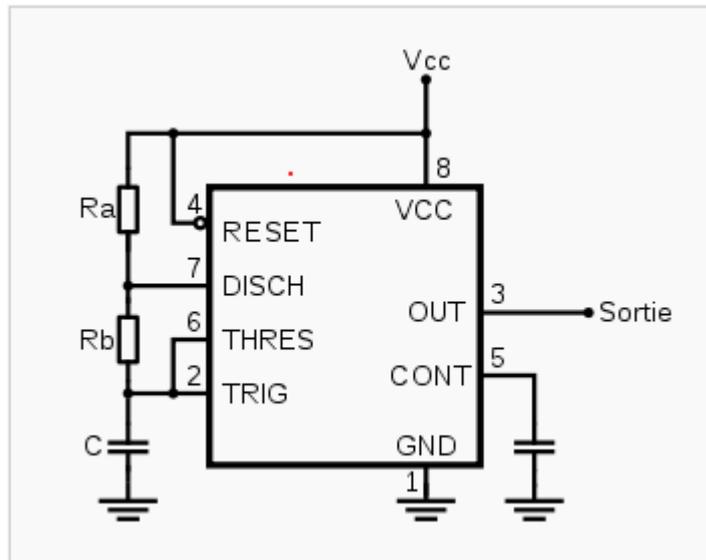


Fig. II.11 Diagramme schématique du NE555 en configuration astable

4. La diode électroluminescente

Une diode électroluminescente, abrégée sous les sigles DEL ou LED, est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique incohérent à partir de la conversion d'énergie électrique.

- **Mécanisme d'émission**

C'est lors de la recombinaison d'un électron et d'un trou dans un semi-conducteur qu'il y a émission d'un photon. En effet, la transition d'un électron entre la bande de conduction et la bande de valence peut se faire avec la conservation du vecteur d'onde \vec{k} . Elle est alors radiative (émissive) et elle s'accompagne de l'émission d'un photon. Dans une transition émissive, l'énergie du photon créé est donnée par la différence des niveaux d'énergie avant (E_i) et après (E_f) la transition : $h\nu = E_i - E_f$ (eV).

Une diode électroluminescente est une jonction P-N qui doit être polarisée en sens direct lorsqu'on veut émettre de la lumière. La plupart des recombinaisons sont radiatives. La face émettrice de la LED est la zone P car c'est la plus radiative.

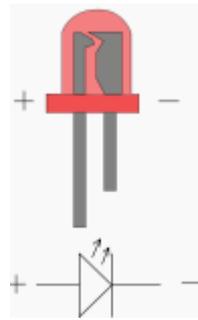


Fig. II.12 Polarisation de la LED

- **Classement selon le spectre d'émission**

Une manière de les classer est de considérer la répartition de l'énergie dans la gamme de longueur d'onde couvrant le visible (longueurs d'ondes de l'ordre de; 380 - 780 nm) ou l'invisible (principalement l'infrarouge). La raison de la distinction réside dans le fait que les diodes blanches peuvent servir à éclairer, ce qui est l'une des applications phares du futur (proche) :

- Les chromatiques : l'énergie est concentrée sur une plage étroite de longueur d'onde (20 à 40 nm). Ces sources ont un spectre quasiment monochromatique.
- Les blanches : l'énergie est répartie dans le visible sur toute la gamme de longueurs d'onde 380-780 nm environ.
- Les infrarouges : l'énergie est au-delà du spectre visible de la lumière, utilisé par exemple pour faire du positionnement, des télécommandes, de l'éclairage pour caméra infrarouge etc.

5. Le phototransistor

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux ; la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite I_{CE0} . L'éclairement de la base conduit à un photo courant I_{ph} que l'on peut nommer courant de commande du transistor. Celui-ci apparaît dans la jonction collecteur-base sous la forme : $I_C = \beta I_{ph} + I_{CE0}$.

Le courant d'éclairement du phototransistor est donc le photo courant de la photodiode collecteur-base multiplié par l'amplification β du transistor. Sa réaction photosensible est donc nettement plus élevée que celle d'une photodiode (de 100 à 400 fois plus). Par contre le courant d'obscurité est plus important.

On observe une autre différence entre phototransistor et photodiode : la base du phototransistor est plus épaisse, ce qui entraîne une constante de temps plus importante et, donc une fréquence de coupure plus basse que celle des photodiodes. On peut éventuellement

augmenter la fréquence de coupure en diminuant la photosensibilité en connectant la base à l'émetteur.

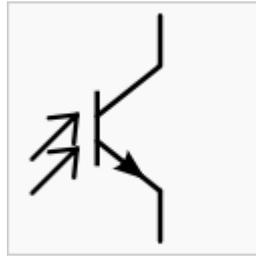


Fig. II.13 Symbole du phototransistor

6. Les filtres passifs

Un filtre est un circuit dont le comportement dépend de la fréquence. C'est un circuit linéaire. \Rightarrow si la tension d'entrée est sinusoïdale alors la tension de sortie sinusoïdale de même fréquence. Notons qu'une tension continue possède une fréquence nulle.



Fig. II.14 Schéma synoptique d'un filtre

Un filtre passif se caractérise par l'usage de **composants passifs** (résistances, condensateurs, bobines). Par conséquent, leur gain (rapport de puissance entre la sortie et l'entrée) ne peut pas dépasser la valeur un. C'est-à-dire, ils ne peuvent qu'atténuer en partie des signaux, mais pas les amplifier. Il existe plusieurs types de filtres, dont les plus connus sont :

- **Filtre passe-bas**

Ce filtre ne laisse passer que les basses fréquences du signal d'entrée. Les hautes fréquences sont donc filtrées. La limite entre BF et HF est appelée fréquence de coupure F_c . La bande passante est la gamme de fréquence non filtrée : $BP = [0, F_c]$

A noter que les signaux continus ($f = 0$) ne sont pas filtrés.

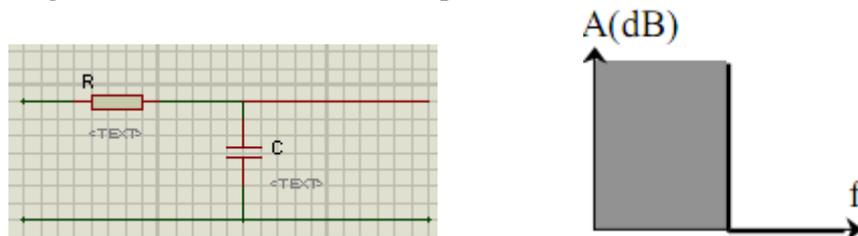


Fig. II.15 Exemple d'un filtre passe-bas

- **Bande passante à -3dB**

Les fréquences de coupure « à - 3 dB » sont définies de la manière suivante : ce sont les fréquences qui correspondent à l'amplification maximale divisée par $\sqrt{2}$.

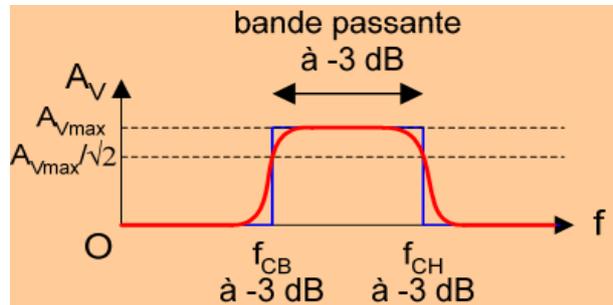


Fig. II.16 Fréquences de coupure à -3dB

- **Fonction de transfert d'un filtre (ou transmittance complexe)**

La fonction de transfert est une fonction mathématique qui décrit le comportement en fréquence d'un filtre (en régime sinusoïdal).

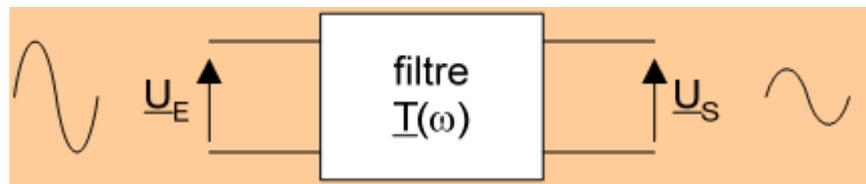


Fig. II.17 Fonction de transfert d'un filtre

Le module de la fonction de transfert correspond à l'atténuation en tension

$$T(\omega) = |\underline{T}(\omega)| = \frac{|\underline{U}_S|}{|\underline{U}_E|} = \frac{U_{S\text{eff}}}{U_{E\text{eff}}} = \frac{\hat{u}_S}{\hat{u}_E} = \frac{\text{amplitude de la tension de sortie}}{\text{" " " d'entrée}}$$

7. Le montage comparateur

Un comparateur est un amplificateur opérationnel utilisé en régime de saturation. Dans un tel montage l'A.O. ne possède pas de contre-réaction et sa sortie peut prendre deux états suivant la différence de potentiel entre son entrée non inverseuse ($e+$) et inverseuse ($e-$).

En pratique les tensions de sortie $|V_{sat}|$ sont inférieure à la valeur absolue des tensions d'alimentation d'environ 1V.

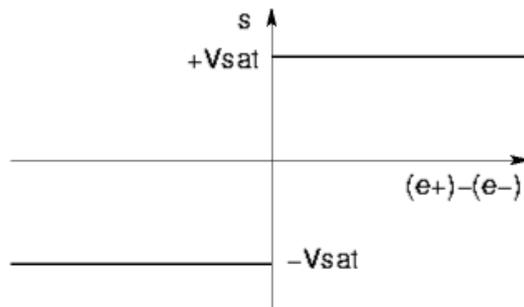


Fig. II.18 Tension de sortie d'un comparateur

- **Comparateur non inverseur**

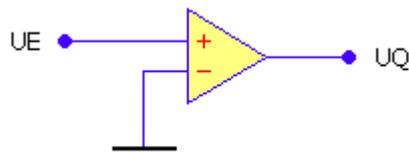


Fig. II.19 Symbole du comparateur non inverseur

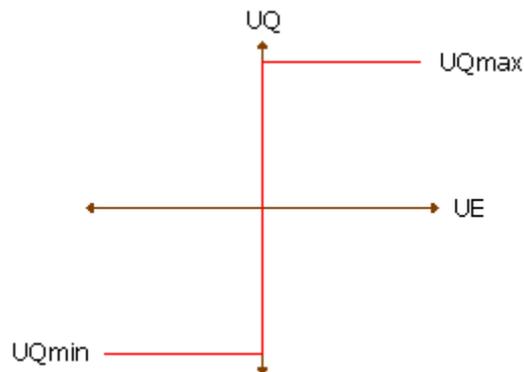


Fig. II.20 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur

- **Comparateur inverseur**

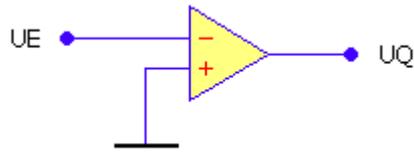


Fig. II.21 Symbole du comparateur inverseur

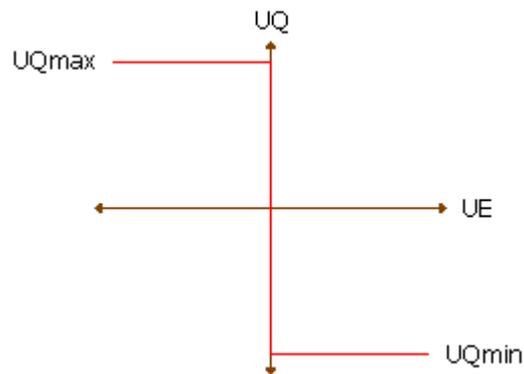


Fig. II.22 Diagramme de transfert du comparateur inverseur

- **Translation du point de basculement pour les montages du comparateur**

La translation du point de basculement se fait à l'aide d'une tension qu'on insère au niveau du point de référence au basculement.

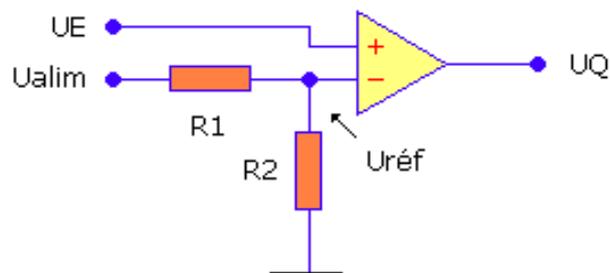


Fig. II.23 Montage comparateur non inverseur

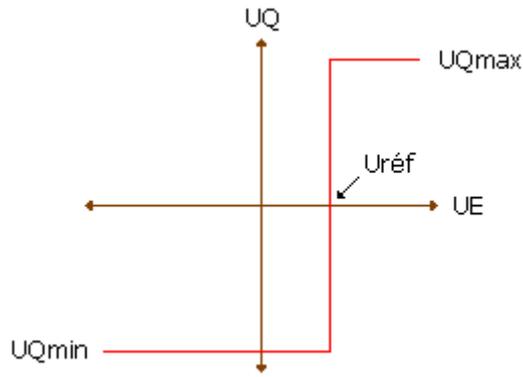


Fig. II.24 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur, tension de référence positive

La tension de référence fixe le point de basculement de l'amplificateur opérationnel.

- **Montage du comparateur inverseur**

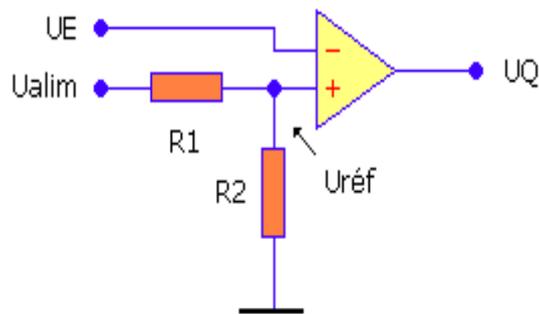


Fig. II.25 Montage comparateur inverseur

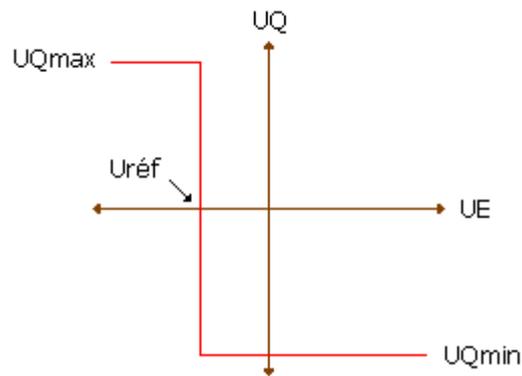


Fig. II.26 Diagramme de transfert du comparateur non inverseur, tension de référence positive

$$U_{réf} = U_{a\ lim} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

8. Le microcontrôleur

Un microcontrôleur (μC) est un composant (un circuit intégré) rassemblant dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées-Sorties).

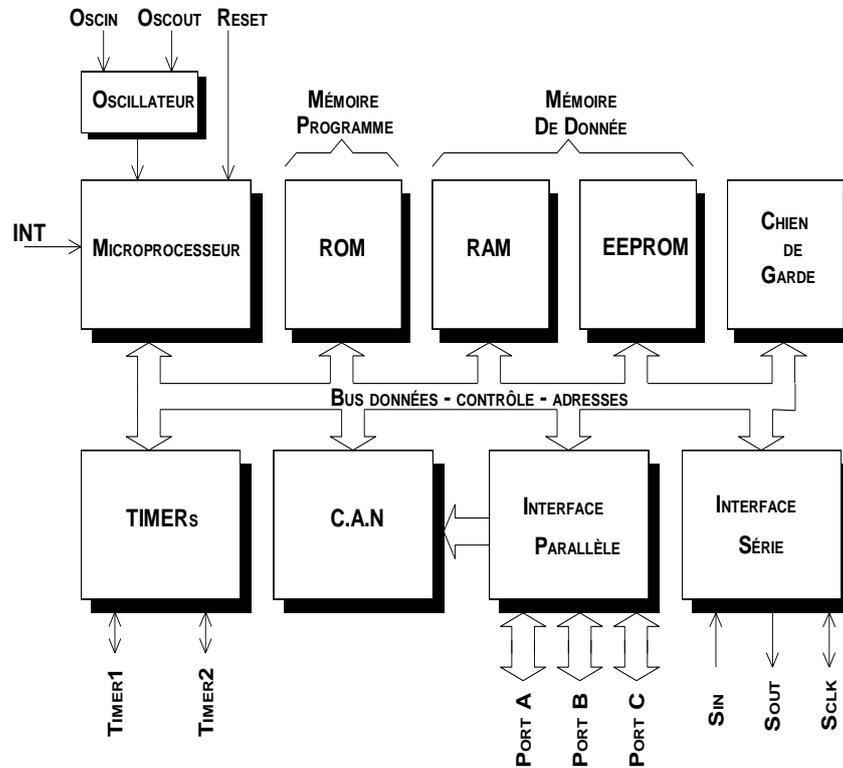


Fig. II.27 Organisation interne du μC

Il permet de réaliser un traitement automatique de l'information. Les μC sont très utilisés dans les systèmes électroniques. Ils supervisent le fonctionnement.

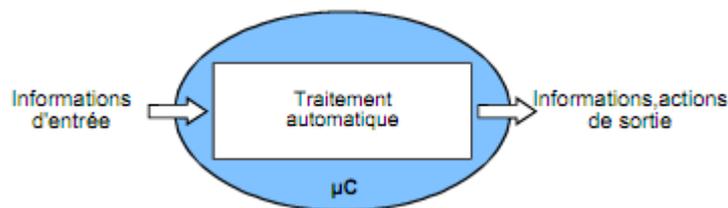


Fig. II.28 Schéma synoptique du traitement automatique pour un μC

Le traitement automatique de l'information consiste en l'exécution par le μP d'une suite de tâches élémentaires appelée instructions. L'ensemble de ces instructions constitue le

programme. Ce programme, dit programme exécutable, est enregistré dans la mémoire interne du μC . Le programme exécutable est du binaire. On utilise souvent le code hexadécimal pour le représenter de façon plus compacte. Exemple : 1F283F3083160313850083128501FF30BC...

- **Développement du programme et mise au point.**

Que ce soit dans un langage assembleur ou évolué, l'écriture du programme ainsi que sa mise au point doivent suivre le diagramme suivant :

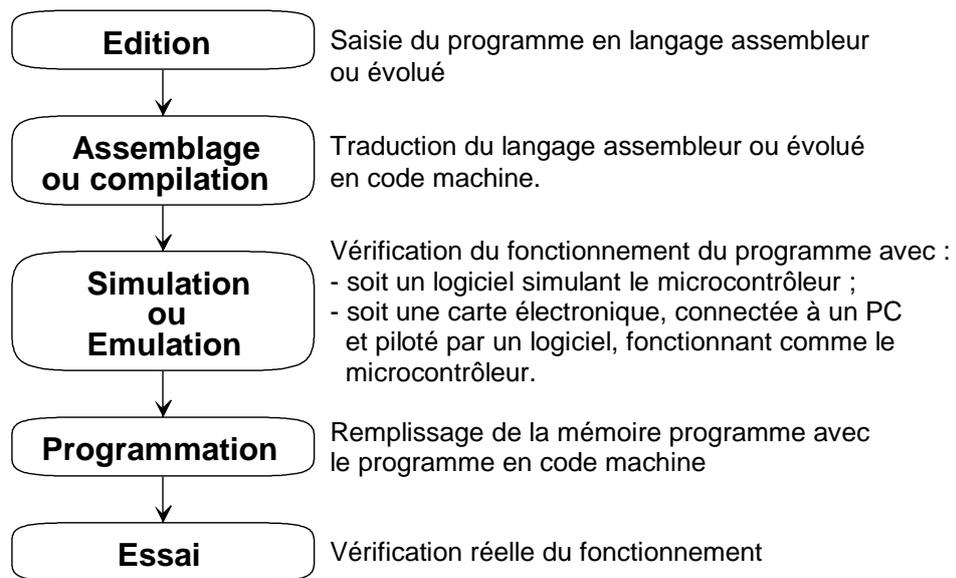


Fig. II.29 Etapes de Développement et mise au point d'un programme

L'émulateur est un dispositif (assez onéreux) qui permet de remplacer le microcontrôleur afin d'effectuer la vérification et la mise au point du programme. C'est une carte électronique comportant, d'un côté un connecteur compatible avec le boîtier du microcontrôleur qu'il émule, et de l'autre, une connexion de type RS232 (ou autre) reliée à micro-ordinateur.

La mise au point peut alors se faire en pas à pas ou avec des points d'arrêt permettant ainsi de cerner très rapidement les "bugs" de certaines routines.

Le simulateur, beaucoup moins coûteux, permet la même chose mais de façon beaucoup moins efficace car il ne tient pas ou très peu compte de l'environnement du microcontrôleur.

Chapitre III Etude du fonctionnement

Après avoir introduit les différents éléments constituant notre système, nous allons dans ce chapitre exposer son principe de fonctionnement en commençant par expliquer le fonctionnement global puis ensuite expliquer le fonctionnement de chacun de ces blocs individuellement.

1. Fonctionnement global du système

Un couple de détecteurs séparés par une petite distance est placé aux deux extrémités de la zone. Le premier couple est constitué des détecteurs **D1** et **D2**, le deuxième étant formé des détecteurs **D3** et **D4**. La convention choisie pour le sens est la suivante :

Si le train entre dans la zone par le côté où sont placés les détecteurs **D1** et **D2** alors le sens de la marche est considéré comme positif, tandis que s'il entre par le côté où sont placés les détecteurs **D4** et **D3** alors le sens de la marche est considéré comme négatif.

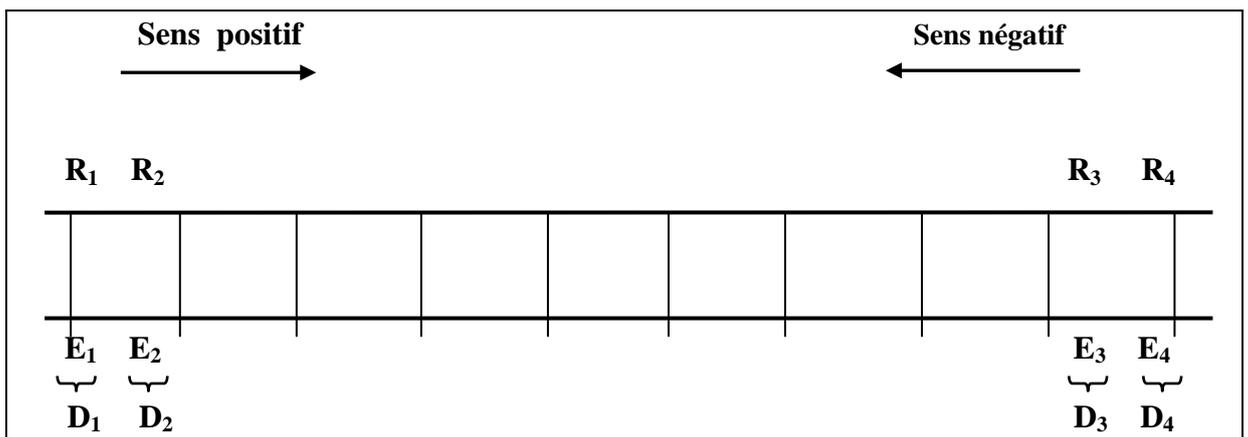


Fig. III.1 Emplacement des détecteurs dans la zone

Un signal lumineux périodique est envoyé par les émetteurs sur la surface sensible des phototransistors. Lorsque la zone est libre l'afficheur LCD indique le nombre '0' et un voyant vert est allumé indiquant qu'aucun essieu et donc aucun train ne se trouve dans la zone considérée. Lorsqu'un train franchit la zone, le comptage ou décomptage des essieux est alors déclenché suivant le sens du train.

Si le train arrive par le sens positif, à chaque passage d'un essieu le signal lumineux émis par l'émetteur **E1** est interrompu déclenchant ainsi le processus de comptage ; le compteur est alors incrémenté. L'afficheur n'indiquant plus le nombre '0' un voyant rouge est allumé indiquant que la zone est occupée. A la sortie de la zone le compteur est décrémenté à chaque fois qu'un essieu coupe le signal émis par l'émetteur **E3** de tel façon que lorsque le train

quitte complètement la zone l'afficheur doit indiquer le nombre '0' et le voyant vert est à nouveau visible indiquant que la zone est libre.

Le même raisonnement est suivi si le train arrive par le sens négatif avec seule différence que le compteur est décrémenté à l'entrée et incrémenté à la sortie ce qui nous permet de distinguer entre les deux sens.

Un autre cas peut se présenter où le train s'arrête au milieu de la zone pour faire marche-arrière. Dans ce cas de figure le compteur est décrémenté à chaque coupure du signal émis par l'émetteur **E2** si le train venait du sens positif ou incrémenté à chaque coupure du signal émis par l'émetteur **E3** si le train venait du sens négatif, de manière à ce que l'afficheur indique toujours '0' quand la zone est libre.

2. Fonctionnement des détecteurs

Chaque détecteur est constitué d'un émetteur et d'un récepteur optoélectronique dont nous allons décrire le fonctionnement.

2.1 Fonctionnement de l'émetteur

Il est constitué d'un **timer555** monté en astable, utilisé pour fournir un signal périodique à la diode infrarouge afin de ne pas être alimentée en permanence pour diminuer la puissance consommée. Le **NE555** fournit une tension typique de sortie de **3.3V** à l'état haut et une tension max de **0.4V** à l'état bas lorsqu'il est alimenté par une tension de **5V**. La fréquence du signal a été déterminée à environ **2kHz**.

Lorsque le timer donne un état haut en sortie, la diode infrarouge (IR) est polarisée en directe et le signal est émis. Le spectre d'émission de la diode IR (LD271) indique une intensité max pour une valeur de la longueur d'onde de 950nm.

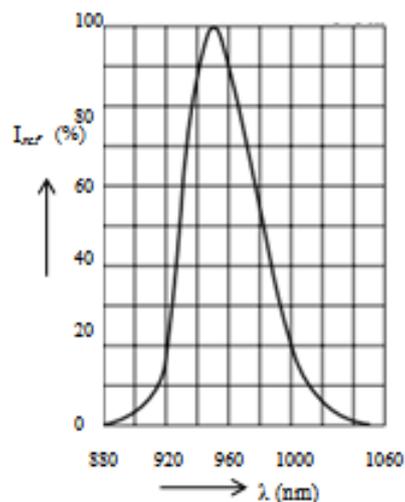


Fig. III.2 Spectre d'émission de la LD271 [10]

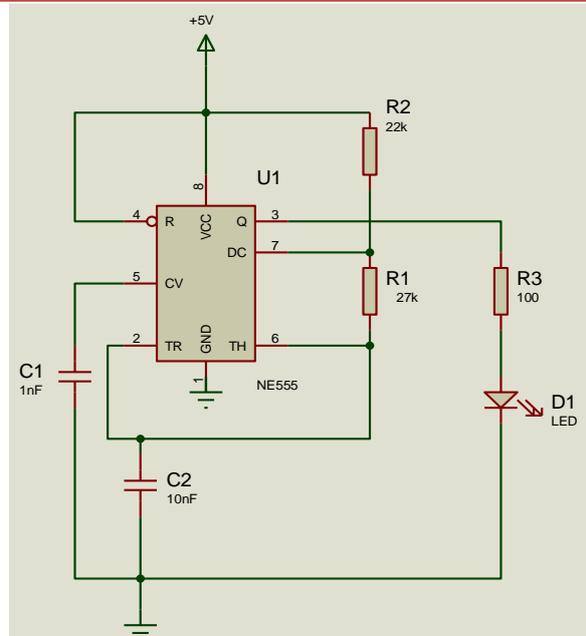


Fig. III.3 Montage émetteur

2.2 Fonctionnement du récepteur

Le signal émis par la diode est reçu par un phototransistor NPN du type BPX43. Sa sensibilité max est située aussi autour d'une longueur d'onde de 920nm pour assurer un maximum de cohérence entre l'émetteur et le récepteur.

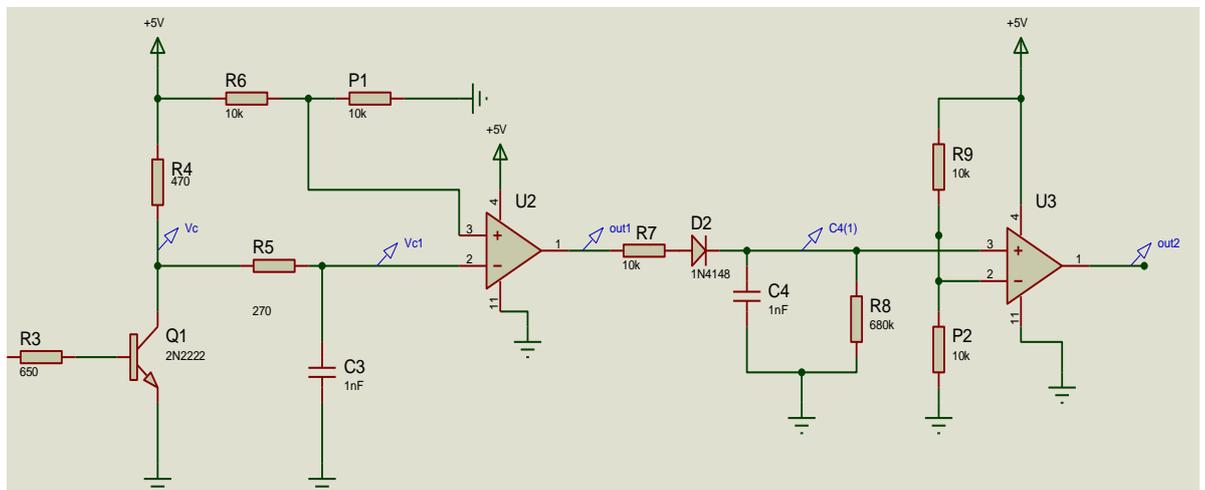


Fig. III.4 Montage récepteur

Lorsque le phototransistor, monté en émetteur commun, reçoit la lumière émise par la diode infrarouge il devient passant et sa tension $V_{ce} = 2V$. Cette dernière et après avoir traversé un filtre passe-bas de fréquence de coupure $F_c = 589kHz$ se trouve à l'entrée inverseuse d'un premier comparateur U2, l'autre entrée étant fixée à un potentiel de 2.5V par un pont diviseur de tension. La sortie est alors à l'état haut.

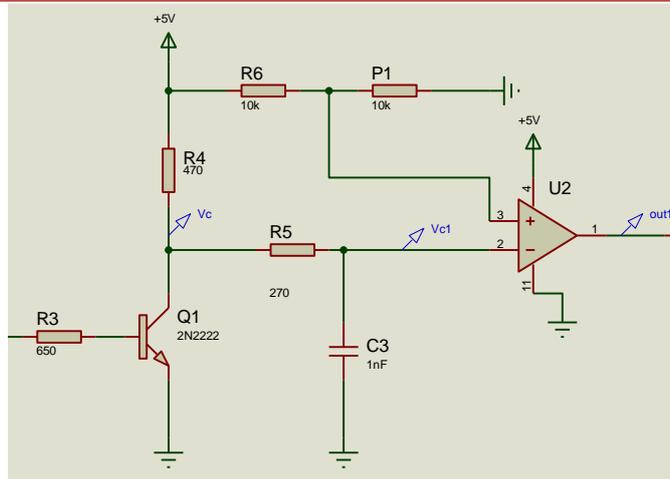


Fig. III.5 Schéma électrique du premier étage du montage récepteur

Le condensateur **C4** placé à la sortie du comparateur **U2** va donc se charger à travers la résistance **R7**.

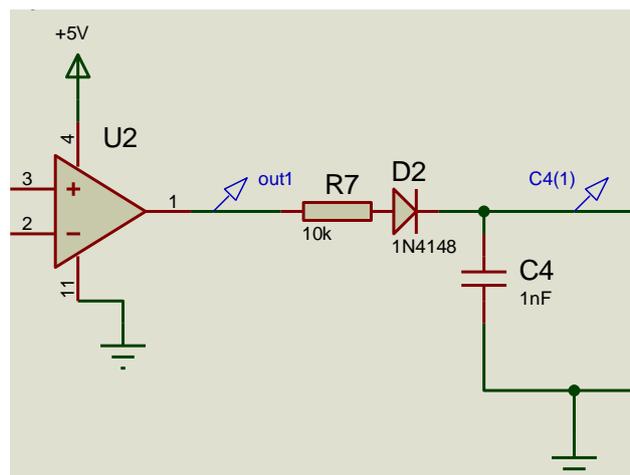


Fig. III.6 Circuit de charge du condensateur C4

Quand le phototransistor ne reçoit plus le signal infrarouge il devient bloqué et sa tension $V_{ce}=5V$. La sortie du comparateur **U2** bascule alors vers l'état bas. Le condensateur **C4** dont la tension se trouve à l'entrée non inverseuse d'un deuxième comparateur **U3**, va donc se décharger dans la résistance **R8**. La valeur de cette dernière a été choisie de manière à ce que la tension aux bornes du condensateur ne descende pas au dessous du potentiel de l'entrée inverseuse du comparateur **U3**. Cette dernière étant fixée à **2.5V** par un pont diviseur de tension.

Ceci permet donc de maintenir la sortie du comparateur **U3** (**qui représente aussi la sortie du détecteur**) à l'état haut tant qu'il y a pas passage d'un essieu.

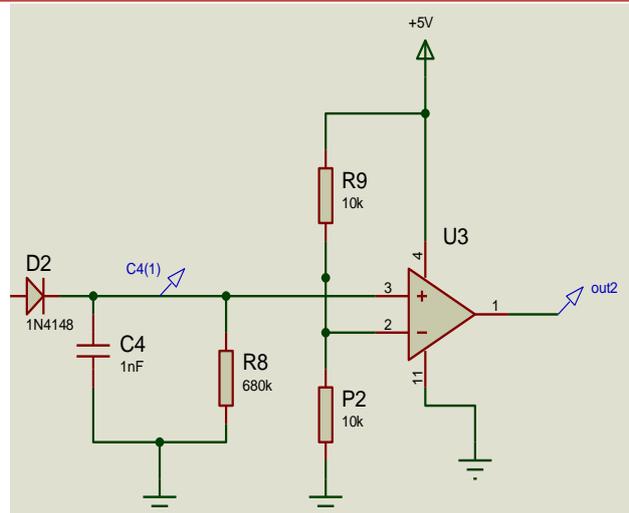


Fig. III.7 Schéma électrique du second étage du montage récepteur

Lorsqu'un train entre dans la zone, le passage d'un essieu va entraîner une coupure du signal infrarouge pendant une durée plus importante. Le condensateur **C4** va donc se décharger encore plus et la tension à ses bornes devient inférieure à la tension fixe appliquée à l'entrée inverseuse du comparateur **U3**. Ce dernier bascule et sa sortie prend l'état bas déclenchant ainsi le processus de comptage.

Les sorties des 4 détecteurs représentent des entrées pour le système de comptage que nous allons décrire dans ce qui suit.

3. Système de comptage et d'affichage

3.1 Présentation du microcontrôleur 16F877A

Pour le comptage (décomptage) des essieux nous avons opté pour un système autour d'un microcontrôleur (PIC) de la famille **16F877A**. Il est fait parti de la série «Mid-range» (l'instruction est codée sur 14 bits) qui se prête particulièrement bien à la programmation en C.

Les PICs de la série inférieure sont un peu justes en performance et en capacité mémoire pour accueillir un programme issu d'un compilateur C ; les gammes supérieures (16 ou 32 bits) supportent sans problème mais se sont des circuits plus complexes (et donc plus chers),

Le **16F877A** (F pour mémoire « Flash ») convient parfaitement pour notre application : mémoire programme de taille suffisante (8K), nombreux périphériques intégrés, fréquence de fonctionnement jusqu'à 20 MHz.

Les figures ci-dessus représentent respectivement les différents modules du PIC 16F877A ainsi que son brochage.

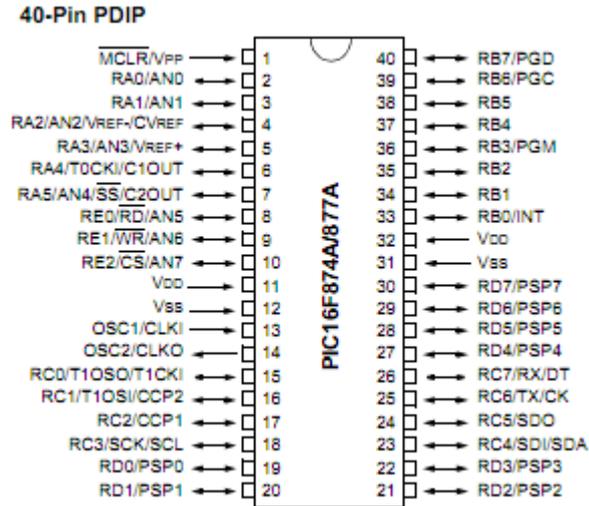


Fig. III.8 Brochage du PIC 16F877A [11]

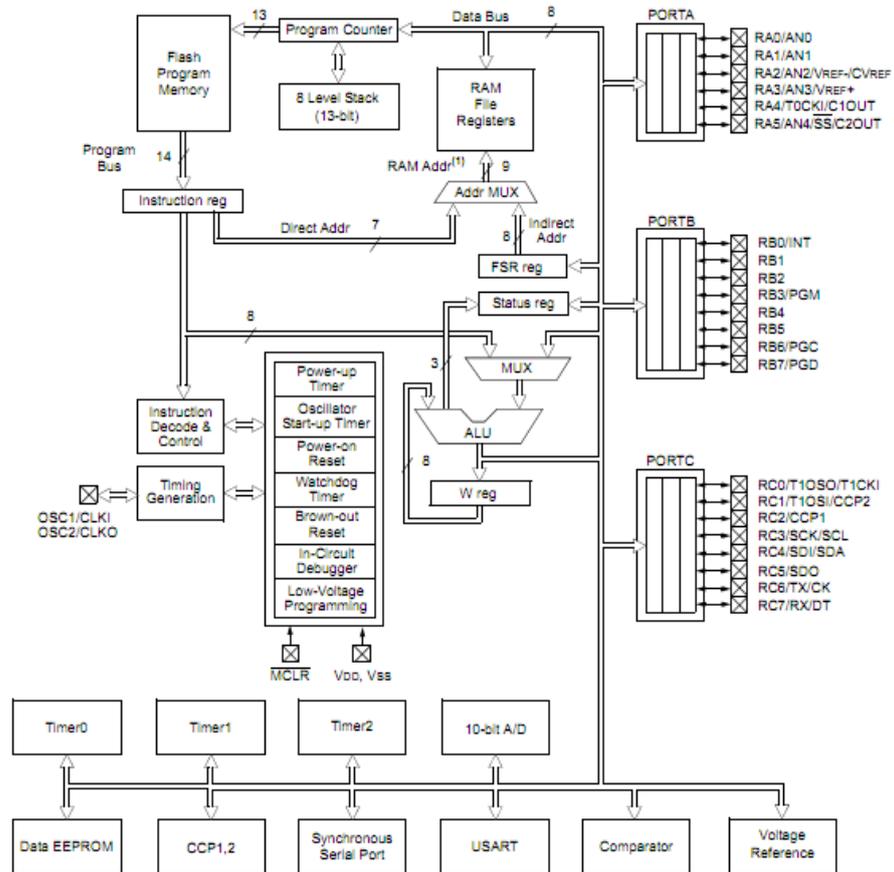


Fig. III.9 Structure interne du PIC 16F877A [11]

3.1.1 Le langage de programmation (software)

Le programme implanté dans le microcontrôleur et dont le code source sera présenté dans l'Annexe B, a été saisi en langage C et compilé en utilisant le compilateur **MikroC**. Ce dernier est un compilateur C riche en fonctionnalités développé pour les microcontrôleurs de Microchip dont fait parti notre **16F877A**. Il est conçu pour développement, la construction et le débogage des applications embarquées à base de PIC. Cet environnement de développement dispose d'une large gamme de fonctionnalités telles qu'un IDE (*Integrated Development Environment*) facile à utiliser, un code compact et très efficace, des bibliothèques de matériels et de logiciels, une documentation complète...etc. [12]

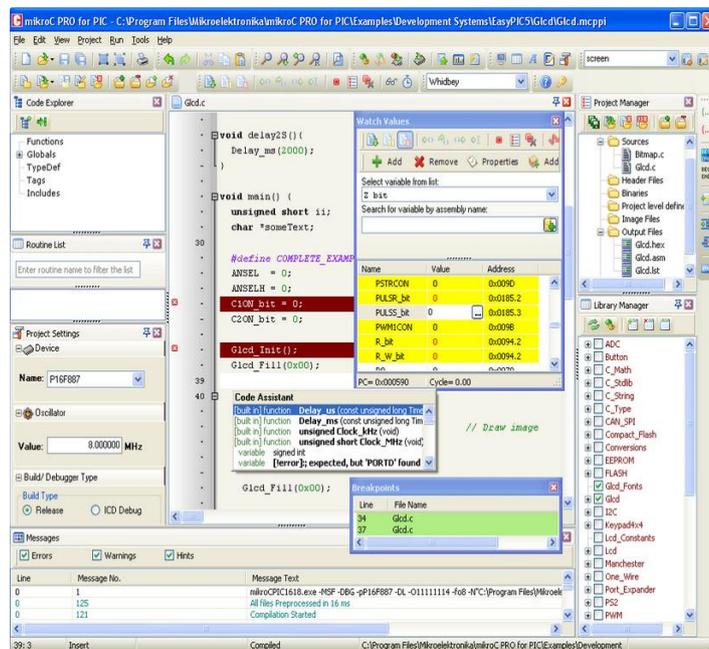


Fig. III.10 IDE du MikroC

3.1.2 La carte de programmation (hardware).

L'implantation du programme dans la mémoire du microcontrôleur a été réalisée avec **PICKIT™2**. C'est un outil de développement à faible coût avec une interface facile à utiliser pour la programmation et de débogage des microcontrôleurs de la famille Microchip. La version complète de l'interface Windows® prend en charge la programmation des PIC10F, PIC12F5xx, PIC16F5xx, PIC12F6xx, PIC16F, PIC18F, PIC24, dsPIC30, dsPIC33 et la famille PIC32 de 8 et 16-bits, les microcontrôleurs 32-bits et de nombreux produits Microchip EEPROM. [13]

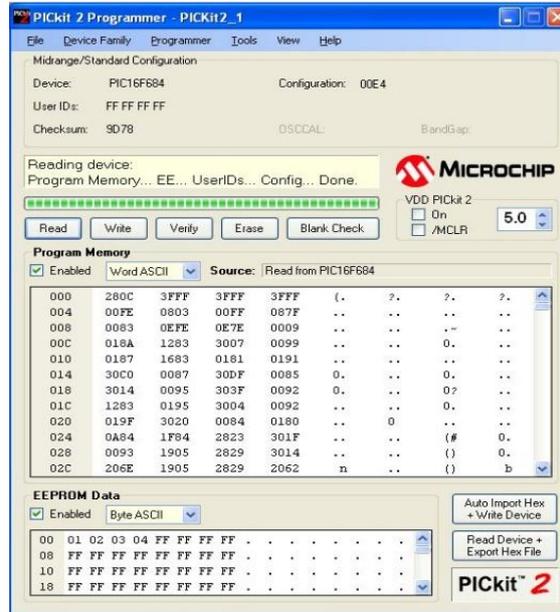


Fig. III.11 Interface utilisateur du PICKit™2

3.2 Fonctionnement

Les boutons poussoirs qu'on remarque dans la figure ci-dessous représentent les sorties des 4 détecteurs. Ces dernières représentent les entrées du microcontrôleur. A chaque passage d'un essieu, le basculement de l'une de ces entrées vers l'état bas est considéré comme une interruption par le PIC et un sous programme d'interruption est alors exécuté. Le résultat est ensuite reporté dans un afficheur LCD indiquant ainsi l'état de la zone.

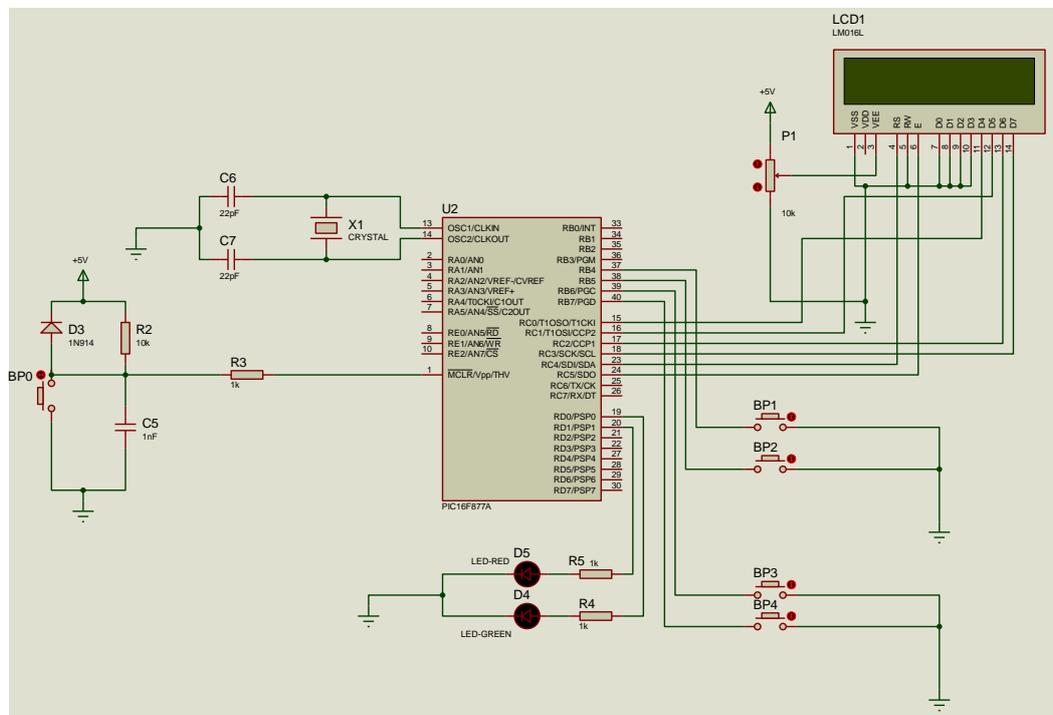


Fig. III.12 Montage du système de comptage

Chapitre IV Simulation et réalisation pratique

Dans ce chapitre nous allons exposer les courbes issues de la simulation des blocs constitutifs de notre système. Ces courbes ont été obtenues avec les logiciels de simulation pour les circuits électroniques. Elles seront commentées et interpréter de manière à mettre en évidence le principe de fonctionnement étudié dans le chapitre précédent.

Ensuite nous aborderons le coté pratique avec la réalisation du circuit imprimé, l'énumération des composants utilisés pour enfin aboutir au produit final.

1. La simulation

1.1 Alimentation stabilisée

Le montage suivant est celui utilisé dans ce projet afin de fournir aux différents modules de notre système une tension d'alimentation stabilisée de **5V**.

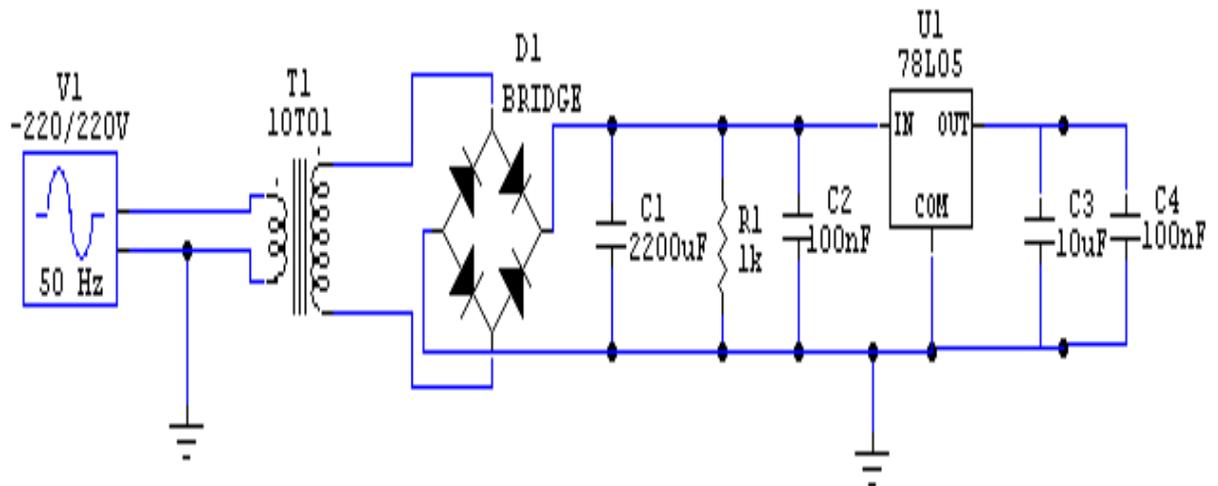


Fig. IV.1 Schéma électrique de l'alimentation stabilisée

Le générateur **V1** représente ici la tension d'alimentation issue du secteur.

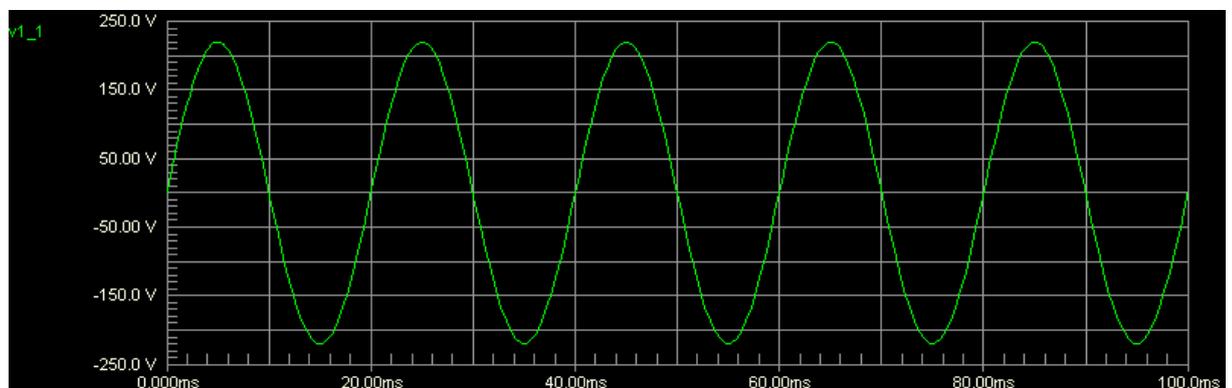


Fig. IV.2 Tension de l'alimentation secteur

Le transformateur utilisé dans ce montage est un **220/9V**. En pratique, le transformateur utilisé est un transformateur à deux secondaires montées en parallèle pour doubler la valeur du courant débité afin de pouvoir alimenter les différents blocs du système. La tension obtenue en sortie est la suivante :

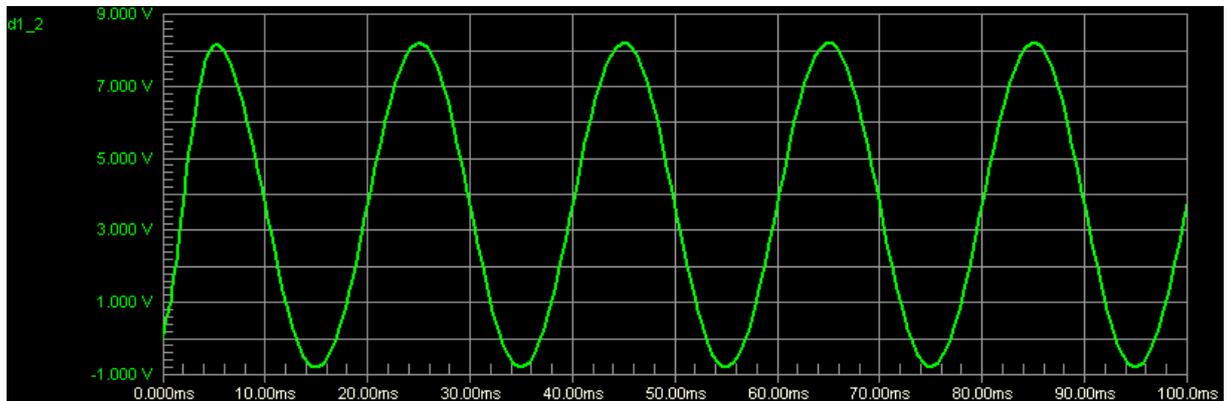


Fig. IV.3 L'allure de la tension à la sortie du transformateur

La chute de tension qu'on remarque durant l'alternance positive est due au fait que le point de référence ou la masse ne se trouve pas aux bornes du secondaire. Pour l'alternance négative, le condensateur **C1** chargé durant la première demi-période, ajoute une tension positive aux bornes du secondaire, ce qui explique le résultat obtenu ci-dessus.

Après redressement et filtrage capacitif le résultat obtenu est représenté sur la figure suivante :

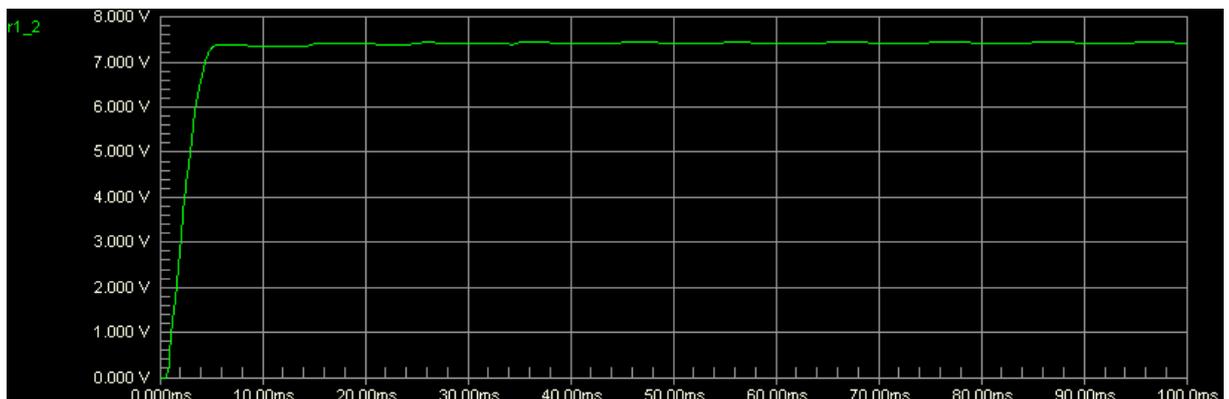


Fig. IV.4 L'allure de la Tension après redressement et filtrage

La tension de sortie est une tension régulée avec de petites ondulations. Le choix de la valeur du condensateur **C1** sera présenté dans l'Annexe A.

Enfin à la sortie du régulateur **7805** les ondulations sont éliminées et la tension est stabilisée.

Les condensateurs **C2** et **C4** permettent d'éliminer les éventuelles tensions parasites qui peuvent provenir de l'extérieur tandis qu'au condensateur **C3** est utilisé pour éliminer les oscillations qui peuvent surgir à la sortie du régulateur **7805**.

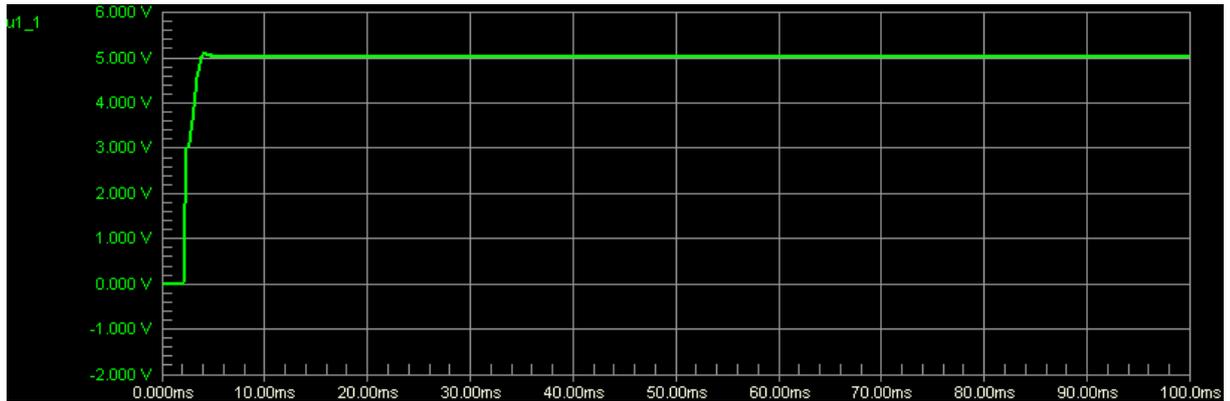


Fig. IV.5 L'allure de la tension à la sortie du régulateur

1.2 Simulation du circuit émetteur

La figure suivante représente la tension de sortie du **NE555** monté en astable

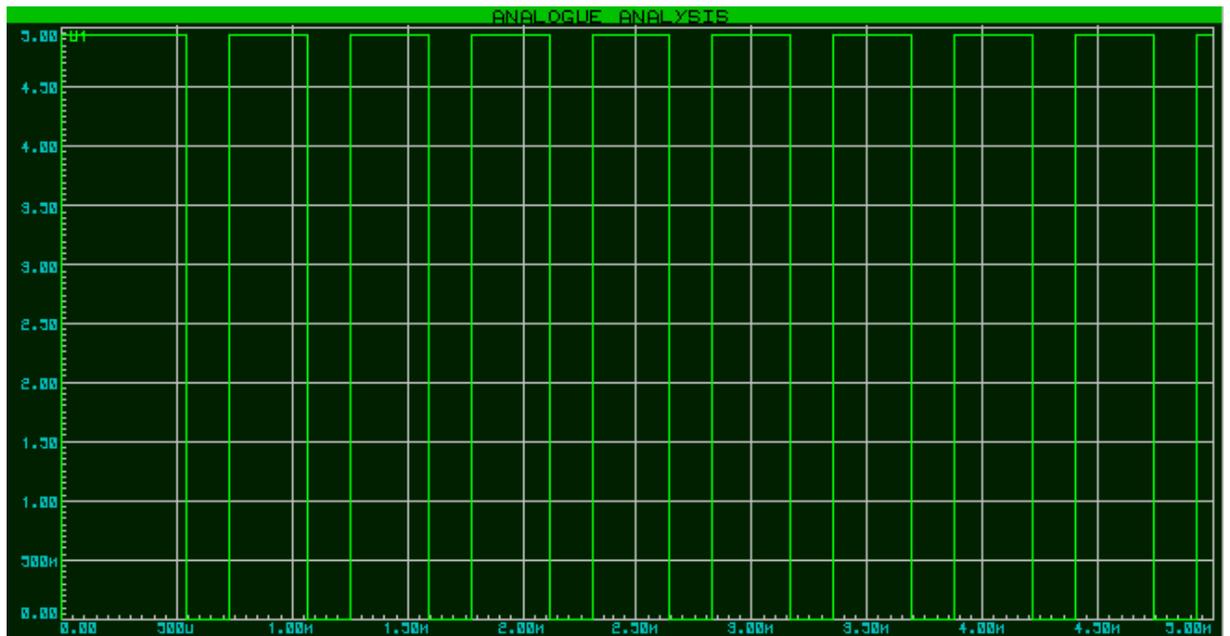


Fig. IV.6 L'allure de la tension à la sortie du NE555

Le timer donne bien un signal carré en sortie d'une fréquence de **1.9KHz** et d'un rapport cyclique de **0.35**. Lorsque la sortie est à l'état haut elle donne une tension d'environ **5V**. La diode est passante et le signal IR est émis. Tandis qu'à l'état bas la sortie est à **0V**, la diode devient bloquée et l'émission du signal IR est interrompue.

1.3 Simulation du circuit récepteur

Pour la simulation du circuit récepteur nous avons été contraints à opérer avec un transistor NPN de la famille **2N222** car le logiciel de simulation utilisé ne contient pas de phototransistor dans sa librairie de composants.

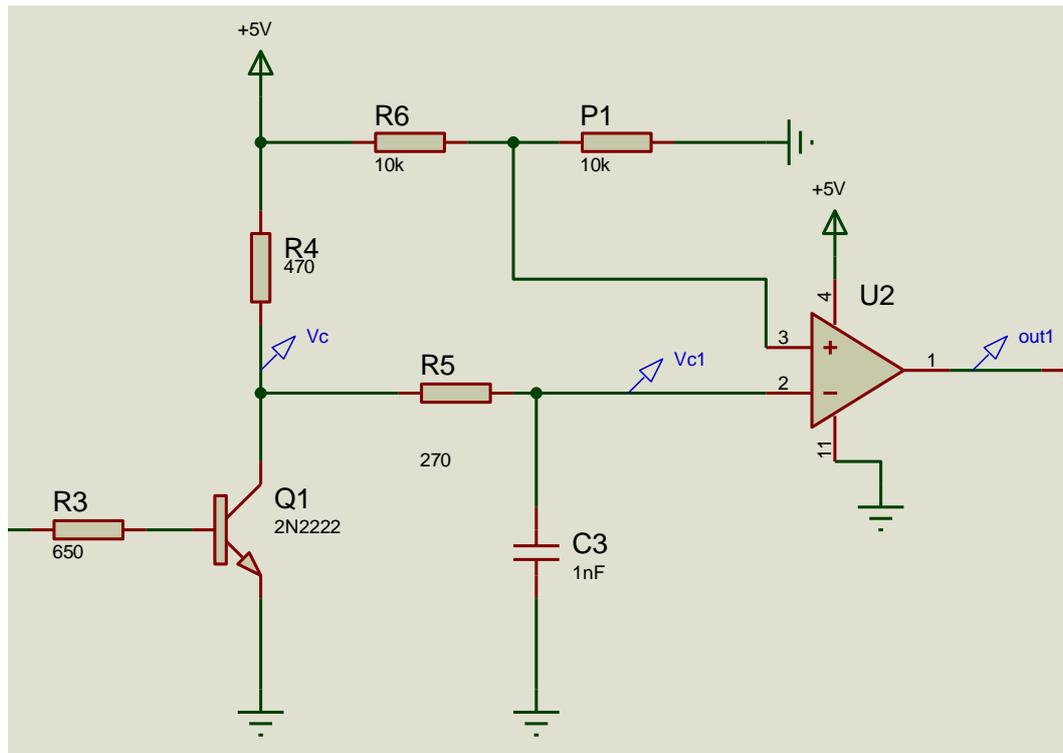


Fig. IV.7 Schéma électrique du premier étage du montage récepteur

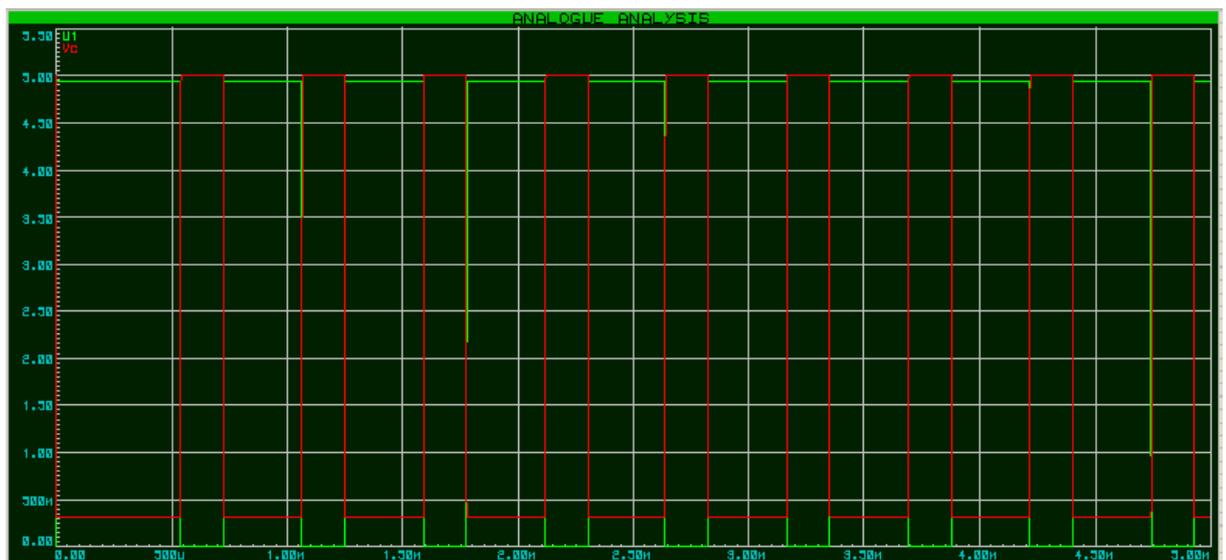


Fig. IV.8 L'allure de la tension collecteur du transistor

La tension du collecteur V_c (en rouge) est à **300mV** lorsqu'il est passant (lorsqu'il ya réception du signal IR pour un phototransistor). Quand il est bloqué (absence du signal IR pour un phototransistor) la tension V_c est à **5V**.

Après filtrage, le changement d'état de la tension V_{c1} qui se trouve à l'entrée inverseuse du premier comparateur **U2** va induire un signal carré à la sortie de ce comparateur (**out1**) comme expliqué au chapitre précédent et que l'on peut vérifier sur la figure suivante :

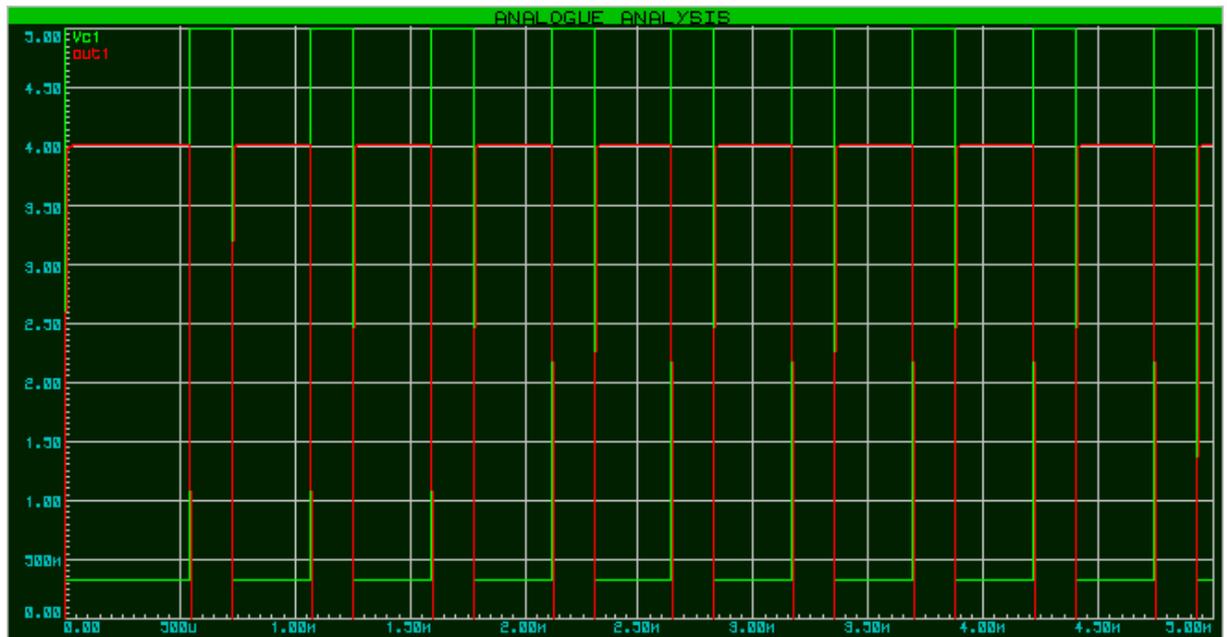


Fig. IV.9 L'allure de la tension à la sortie du comparateur U2

Lorsque la sortie du comparateur **U2** (out1 en rouge) est à l'état haut cela va permettre au condensateur **C4** de se charger à travers la résistance **R7**. Une fois que la sortie est à l'état bas le condensateur **C4** va se décharger dans la résistance **R8**. Vue les variations qui peuvent survenir sur cette dernière (tolérance) nous avons mis une résistance ajustable pour pouvoir contrôler le point de basculement.

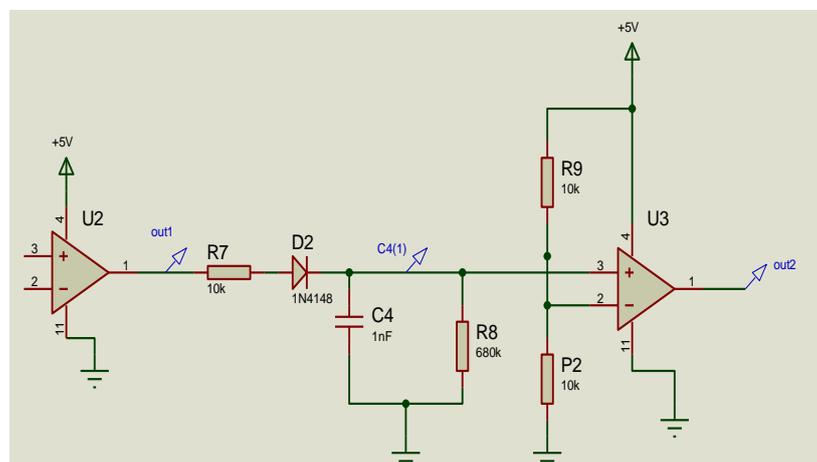


Fig. IV.10 Circuit de charge et décharge du condensateur C4



Fig. IV.11 Charge et décharge du condensateur C4

Le différence qui apparait entre tension de sortie du comparateur **U2** et la valeur de tension max du condensateur est due à la chute de tension dans la diode **D2**.

La sortie **out2** (en rouge) du deuxième comparateur **U3** est maintenue à l'état haut tant qu'il n'y a pas passage d'essieux.

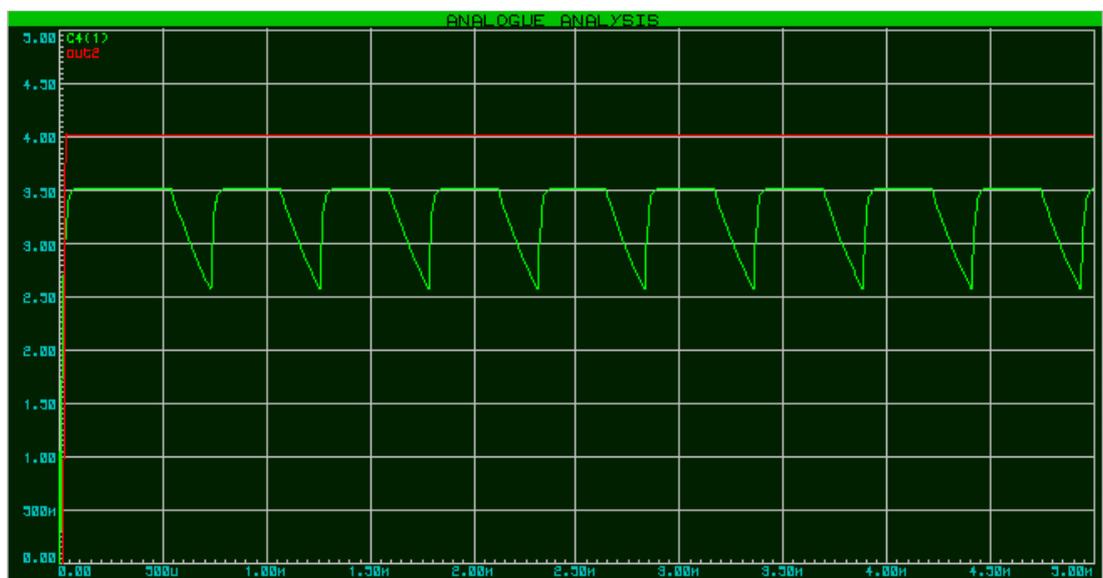


Fig. IV.12 L'allure de la tension à la sortie du comparateur U3 lorsque la zone est libre

Pour illustrer le passage d'un essieu, nous avons augmenté la durée de l'état bas de la sortie du NE555, en faisant varier la valeur de la résistance **R1** (connectée entre les broches **7** et **6**), de manière à avoir le basculement de la sortie du comparateur **U3** (out2 en rouge).



Fig. IV.13 L'allure de la sortie du comparateur U3 aux passages des essieux

Ainsi nous avons donné les différents résultats obtenus par simulation. Pour le système de comptage il n'est pas possible de reporter la simulation du fait que cette dernière se fait en temps réel.

2. Réalisation pratique

La réalisation pratique commence d'abord par la réalisation du circuit imprimé. Le logiciel utilisé pour le traçage a été choisi sur la base des performances qu'il démontre du point de vue miniaturisation du circuit.

Afin de rendre le circuit moins encombrant chaque couple de détecteurs a été placé dans le même circuit imprimé. L'alimentation et le module de comptage se trouve aussi sur le même circuit. Ainsi le système en tout sera composé de trois cartes électroniques.

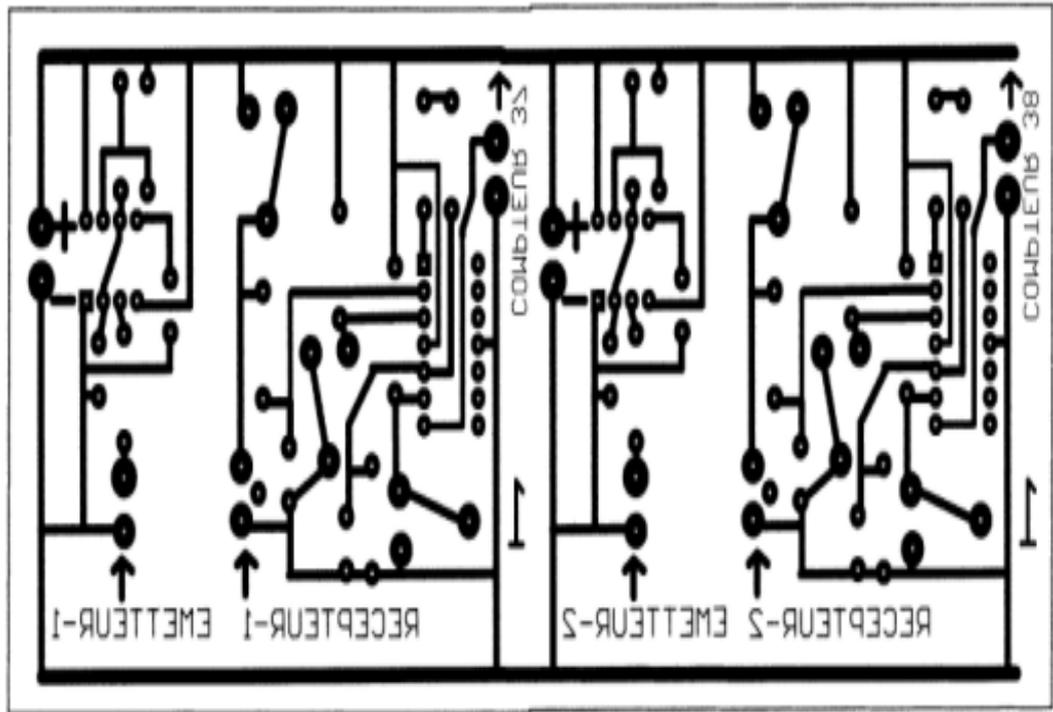


Fig. IV.14 Circuit imprimé du premier couple de détecteurs

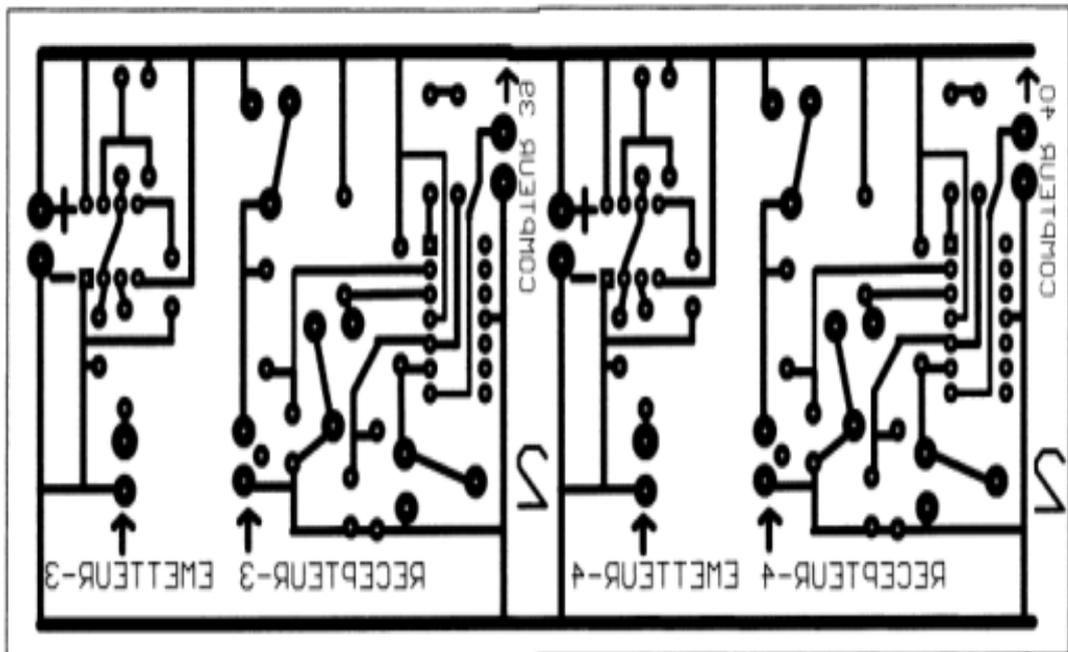


Fig. IV.15 Circuit imprimé du second couple de détecteurs

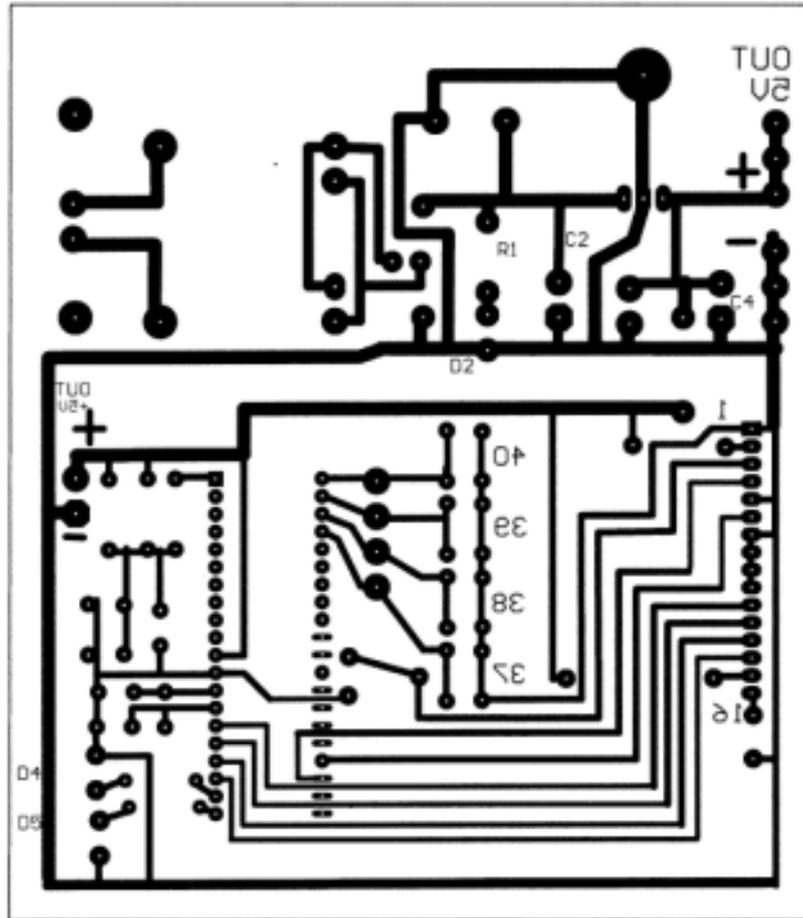


Fig. IV.16 Circuit imprimé de l'alimentation stabilisée et du module de comptage

L'étape suivante est de placer les composants correspondants à chaque montage dans son circuit imprimé par l'opération de soudage.

Voici maintenant la liste des composants utilisés pour chaque montage :

ALIMENTATION	
T1-	TRANSFO 220/9V
D1-	PONT 1A/200V
D2-	LED ROUGE 5mm
R1-	1K
C1-	2200 μ F/25V
C2-	100NF
C3-	10 μ F
C4-	100NF
U1-	REGULATEUR 7805 + 1 REFROIDISSEUR

Fig. IV.17 Liste des composants pour l'alimentation stabilisée

```

R1- 27K
R2- 22K
R3- 100 OHM
R4- 270 OHM
R5- 330 OHM
R6- 10K
R7- 680K
R8- 10K
P1- RES. AJUSTABLE 47K
P2- RES. AJUSTABLE 47K
P3- 470 OHM

C1- 1NF
C2- 10NF
C3- 1NF
C4- 1NF
D1- EMETTEUR IR
D2- 1N4148
Q1- RECEPTEUR IR
U1- NE555
U2- LM324
2 BORNIER 2 POS.

```

Fig. IV.18 Liste des composants pour les détecteurs

```

SYST. DE COMPTAGE

D3- 1N4148
D4-LED ROUGE 5mm
D5-LED ROUGE 5mm
C5- 1NF
C6- 220PF
CT- 220PF
R2- 10K
R3- 1K
R4- 1K
R5- 1K
R6-330 OHM
P1- RES. AJUSTABLE 470K
BP1...BP5- BOUTONS POUSSOIRS
U2- 16F877
LCD- AFFICHEUR
2 BORNIER 3 POS.
2 BORNIER 2 POS.
1 BORNIER DE 4POS.

SUPPORT CI 40b (2X20)
1 BARETTE SECABLE 16p
X1- QUARTZ 4Mhz

```

Fig. IV.19 Liste des composants pour le système de comptage

Après avoir terminé la soudure, nos circuits se présentent comme suit :

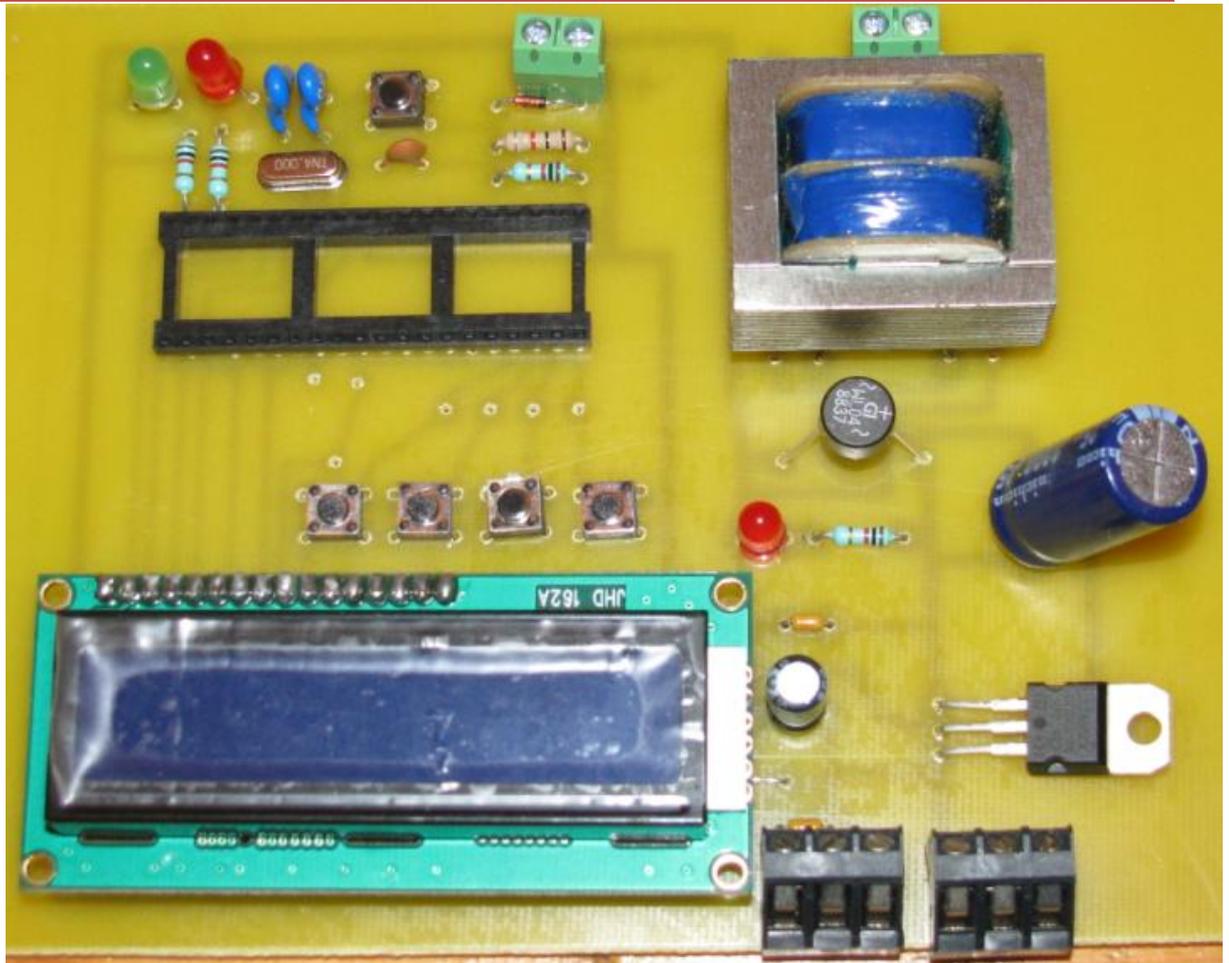


Fig. IV.20 Le circuit d'alimentation et du système de comptage

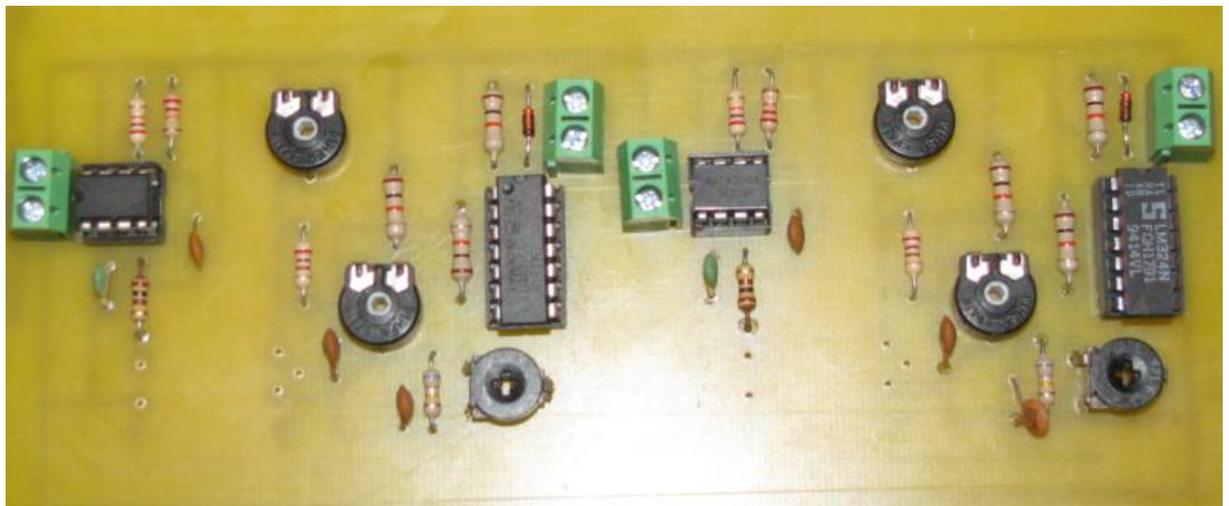


Fig. IV.21 Le circuit du couple de détecteurs

Conclusion Générale

L'expérience vécue durant ce stage de projet de fin d'étude a été très bénéfique pour nous sur plusieurs aspects.

Tout d'abord, c'était une opportunité de mieux connaître le secteur ferroviaire et d'appréhender le milieu de travail à travers ce dernier. Nous avons aussi pu constater les contraintes imposées à l'industrie en matière de sécurité des équipements, et que le vrai rôle de l'ingénieur n'était pas la conception mais l'adaptation de cette conception afin qu'elle puisse répondre aux exigences de sécurité imposées par le client, tout en garantissant l'accomplissement de la fonction désirée. Ceci a été déduit à travers les normes de sécurité régissant le milieu ferroviaire dans les quelles on trouve ce qu'on appelle «cycle de vie d'un système» applicable sur n'importe quel système destiné à être lancé sur le marché.

Aussi, parmi les points positifs que nous avons retenus c'est de pouvoir trouver les solutions aux problèmes intempestifs aux quels nous pouvons être confrontés. D'ailleurs l'idée de notre circuit est à l'origine une solution pour surmonter le problème de manque de documents pour l'étude du compteur d'essieux Azlm.

Même si notre réalisation paraît simple, elle est d'une utilité considérable, car le contrôle des zones est un paramètre indispensable dans la gestion du trafic ferroviaire. Aussi, ce système peut être utilisé pour détecter la présence d'éventuels obstacles qui pourraient nuire à la bonne circulation des trains.

Ce travail était un vrai complément pour notre formation d'ingénieur. En effet, ça nous a permis d'enrichir nos connaissances dans la pratique des circuits électronique et d'apprendre comment analyser un circuit afin de déduire son fonctionnement. Aussi, c'était l'occasion pour nous d'aborder la programmation des PIC et de mieux maîtriser les logiciels de simulation des circuits électroniques.

Enfin, le système qui a été réalisé peut aussi bien avoir d'autres domaines d'application comme la production en chaîne ou bien le contrôle d'accès.

Bibliographie & Webographie

- [1] <http://www.surete-fonctionnement.clearsy.com/2008/12/la-norme-cei-61508-et-ses-derives/> (paragraphe 1).
- [2] La norme EN 50126 « Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité ». CENELEC (1999).
- [3] La norme EN 50128 « Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement ». CENELEC (2001).
- [4] La norme EN 50129 – « Applications ferroviaires – Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation ». CENELEC (2003).
- [5] Formation générique sur les systèmes de signalisation ferroviaire grande lignes.
- [6] <http://fr.wikipedia.org/wiki/PIPC>.
- [7] Processus Thales d'un projet de signalisation sur la base du cycle en V).
- [8] Manuel Utilisateur du compteur d'essieux AzLM.
- [9] <http://fr.wikipedia.org/wiki/NE555>.
- [10] Datasheet de la diode LD271. Semiconductor Group (1997).
- [11] Datasheet du PIC 16F877A. Microchip (2003).
- [12] <http://www.mikroe.com/eng/products/view/7/mikroc-pro-for-pic/>
- [13] http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en023805.
- [14] http://fabrice.sincere.pagesperso-orange.fr/cm_electronique/pic_accueil.htm

Annexe A

Calcul de la valeur de la capacité de filtrage après redressement

Le filtrage après redressement induit une ondulation de la tension en sortie du filtre. Le calcul rigoureux de l'amplitude de ces ondulations est délicat dans le cas général. Nous allons faire le calcul en supposant le courant dans le condensateur est constant.

On a alors :

$$I = C \frac{dV}{dt} \quad \Rightarrow \quad dV = \left(\frac{I}{C}\right)dt$$

Donc sur une période, l'amplitude des oscillations est

$$U = \left(\frac{I}{C}\right)T = \frac{I}{C \cdot f} \quad \text{Où } f \text{ est la fréquence du signal d'entrée.}$$

Cette formule permet de dimensionner le condensateur. En effet, si l'on fixe l'amplitude de l'ondulation U voulue et le courant de sortie I_{max} maximal désiré, on a :

$$C = \frac{I_{max}}{U \cdot f}$$

Pour notre cas, le courant maximal délivré par le transformateur est de 300mA. L'ondulation étant de 1.4V à la fréquence de 100 Hz, on abouti a une valeur du condensateur de 2200uF.

Annexe B

Le code source du programme implanté dans le microcontrôleur

```
// LCD module connections
sbit LCD_RS at RC4_bit;
sbit LCD_EN at RC5_bit;
sbit LCD_D4 at RC0_bit;
sbit LCD_D5 at RC1_bit;
sbit LCD_D6 at RC2_bit;
sbit LCD_D7 at RC3_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISC4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISC5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISCO_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISC1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISC2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISC3_bit;
// End LCD module connections

long int count;
char nbr[]="0000";
int sensor1=0;
int sensor2=0;
int sensor3=0;
int sensor4=0;
//-----
// ----- Sensors information's processing -----
//-----

void interrupt (){
  if(INTCON.B0) {
    if(PORTB.B4==0) // first sensor activatea
      {
        sensor1=1;
        if(sensor2==0) {
          count++;
          if (count==0) { PORTD.B0=1;
                          PORTD.B1=0;
                          }
          else
            { PORTD.B0=0;
              PORTD.B1=1;
              }
        }
      }
    else {sensor2=0;
          sensor1=0;}
  }
}
```

```

else if(PORTB.B5==0) // second sensor activatea
{
  sensor2=1;
  if(sensor1==0) {
    if (count > 0){
      count--;
      if (count==0) { PORTD.BO=1;
                      PORTD.B1=0;
                      }
    }
    else
      { PORTD.BO=0;
        PORTD.B1=1;
        }
  }
  if (count < 0){
    count++;
    if (count==0) { PORTD.BO=1;
                    PORTD.B1=0;
                    }
    else
      { PORTD.BO=0;
        PORTD.B1=1;
        }
  }
}
else { sensor1=0;
       sensor2=0;}
}
else if(PORTB.B6==0) // third sensor activatea
{
  sensor3=1;
  if(sensor4==0) {
    if (count > 0){
      count--;
      if (count==0) { PORTD.BO=1;
                      PORTD.B1=0;
                      }
      else
        { PORTD.BO=0;
          PORTD.B1=1;
          }
    }
    if (count < 0){
      count++;
      if (count==0) { PORTD.BO=1;
                      PORTD.B1=0;
                      }
      else
        { PORTD.BO=0;
          PORTD.B1=1;
          }
    }
  }
  else {sensor4=0;
        sensor3=0;}
}

```

```

    }
    else if(PORTB.B7==0) // fourth sensor activated
    {
        sensor4=1;
        if(sensor3==0) {
            count--;
            if (count==0) { PORTD.B0=1;
                            PORTD.B1=0;
                        }
        }
    }

    else
        { PORTD.B0=0;
          PORTD.B1=1;
        }
    }
    else {sensor3=0;
          sensor4=0;}
    }
}

delay_ms(100); // anti-bounce
INTCON.B0=0;
}

//-----

void main() {
//-----
// ----- Initialising -----
//-----
count = 0; // initialize count
TRISC = 0; // Set direction of PORTC output
TRISB = 255; // Set direction of PORTB input
TRISD = 0; // Set direction of PORTD output
PORTD = 1; // Set output of PORTD at high level
OPTION_REG = 0x01; // and set RB pull_up
INTCON = 0x88; // set interruptions on RB4, RB5, RB6 & RB7

//-----
//----- LCD initialising & testing -----
//-----
Lcd_Init(); // Initialize Lcd

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
Lcd_out(1,3,"The LCD is ");
Lcd_out(2,1,"working great !");
Delay_ms(2000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_out(1,1,"Begin the test..");
Delay_ms(2000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
//-----
//----- Infinite loop waiting events from the sensors-----
//-----

```

```
while (1)
{
Lcd_out(1,1,"axle number:");
LongToStr(count, nbr);
Lcd_out(2,-5,nbr);
}
}
```