

dfRépublique Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Blida 1
Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales
Département de Construction Aéronautique

Option : Avionique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER ACADEMIQUE

Thème

Conception d'un banc de charge pour le
transformateur redresseur de l'Airbus A330-200

Présenté par :

GHRISS Amal
ABBOUD Sarra

Dirigé par :

M.ABDALLAH Mohamed: Promoteur
M. KOUIDER EL OUAHED B. : Co-promoteur
M.LARAB Djaffar: Encadreur

2015/2016

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Résumé

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

INTRODUCTION GENERALE :.....1

CHAPITRE I : Présentation du lieu de stage et de l’Airbus A330-200

I.1. Présentation de l’entreprise :.....2

I.2. Activités et objectifs d’Air Algérie :.....3

I.3. Moyens matériels et humains d’Air Algérie :.....3

I.3.1. Moyens matériels :.....3

I.3.2. Moyens humains :.....4

I.4. Organisation de la direction générale de l’entreprise :.....5

I.5. Présentation de l’Airbus A330-200 :.....7

I.6. Les caractéristiques techniques de l’A330-200 :.....7

Conclusion.....10

CHAPITRE II : Etude théorique des transformateurs et des redresseurs

II.1. Généralités sur les transformateurs :.....11

II.1.1. Définition :.....11

II.1.2. Constitution :.....12

II.1.2.1. Le circuit magnétique :.....12

II.1.2.2. Les enroulements :.....13

II.1.2.3. Le système de refroidissement :.....13

II.1.3. Les pertes de puissance d’un transformateur :.....13

II.1.3.1. Les pertes par effet Joule :.....13

II.1.3.2. Les pertes magnétiques :.....13

II.1.4. Principe de fonctionnement du transformateur monophasé :.....14

II.1.5. Le transformateur triphasé :.....	15
II.1.6. Le couplage :.....	16
II.2. Les redresseurs :.....	17
II.2.1. Définition :.....	17
II.2.2. Types de redresseurs :.....	17
II.2.2.1. Redressement mono alternance non-commandé :.....	17
II.2.2.2. Redressement double alternance non-commandés :.....	18
II.2.3. Problème des chutes de tension en charge :.....	22
II.3. Le circuit de filtrage capacitif :.....	22
II.3.1. Principe de fonctionnement d'un filtre capacitif :.....	22
II.3.2. Choix du condensateur :.....	24
Conclusion :.....	24

CHAPITRE III : Génération électrique de l'Airbus A330-200

III.1. Systèmes de contrôle et management :.....	25
III.2. Réseaux électriques et sources auxiliaires de l'A330-200 :.....	26
III.3. Fonctionnement normal au sol :.....	29
III.4. Fonctionnement normal en vol :.....	31
III.5. Génération de secours en vol :.....	33
III.6. Transformateur redresseur de l'A330-200 :.....	36
III.6.1. Les interfaces du transformateur redresseur :.....	37
III.6.2. Fonctionnement des TR de l'A330 :.....	37
III.6.3. Composition :.....	39
III.6.4. Caractéristiques mécaniques du TR :.....	42
III.6.5. Caractéristiques électriques :.....	43
III.6.6. Caractéristiques environnementales :.....	44
Conclusion :.....	45

CHAPITRE IV : Technologie de construction du banc d'essai du TR A330

IV.1. But du banc de charge :.....	46
IV.2. Constructions mécanique et électrique :.....	47
IV.2.1. Schémas mécanique :.....	49
IV.2.2. Schémas électrique :.....	54

IV.3. Test du banc de charge :	57
IV.4. Test de l'équipement :	57
IV.4.1. Test de la résistance d'isolement (Test préliminaire) :	58
IV.4.2. Principe de mesure (Installation d'essai) :	59
IV.4.3. Essai sans charge :	61
IV.4.4. Essai en charge :	61
IV.4.5. Les pannes probables du TR (si le test est incorrect):	62
Conclusion :	63

CHAPITRE V : Etude technico-économique

V.1. Coût des composants et matériaux utilisés pour la conception du banc de charge :	64
V.2. Coût de la maintenance du TR à l'étranger :	66
Conclusion :	68
CONCLUSION GENERALE :	69
Références bibliographiques :	70
Annexes :	71

Remerciements :

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et nous a aidé à mener à terme ce travail.

Nous remercions ensuite toutes les personnes qui ont directement et indirectement contribué à la confection de ce travail.

Nous voudrions remercier messieurs ABDALLAH Mohamed, KOUIDER EL OUAHED et LARAB Djaffar pour leurs conseils prodigués.

Nous tenons aussi à remercier tous les techniciens de la base de maintenance d'Air Algérie qui nous ont été d'une aide précieuse, notamment monsieur HASSIB et mademoiselle Amel de l'atelier d'électricité statique ainsi que monsieur Saïdi Yassine de l'atelier de structure.

Enfin, nous remercions nos familles, nos amis et nos camarades pour leur soutien tout le long de notre cursus universitaire.

ملخص:

تتكون شبكة كهرباء الطائرة من عدة عناصر لضمان الانتقال المناسب للطاقة الكهربائية إلى مختلف المعدات. نجد من ضمن هذه العناصر: المحول و المقوم الكهربائي. يجب على هذا الأخير أن يشتغل بشكل صحيح طوال مراحل الرحلة الجوية. يهدف عملنا إلى الدراسة النظرية للمحول و المقوم الكهربائي للإيرباص 330 و كذا تصميم جهاز الاختبارات الخاص به و اثبات مردوديته و تحليل النظام الكهربائي للطائرة.

الكلمات المفتاحية: جهاز الاختبارات, المحول و المقوم الكهربائي, الاختبارات, التكاليف, الصيانة.

Résumé:

Le réseau électrique de l'avion est constitué de plusieurs composants pour assurer une bonne transmission de l'énergie électrique vers les différents équipements. Parmi ces composants, on trouve le transformateur redresseur, ce dernier doit fonctionner correctement pendant toutes les phases du vol. Le but de notre travail était de faire une étude théorique sur le transformateur redresseur de l'A330, réaliser son banc de charge, prouver sa rentabilité et décortiquer le circuit électrique de l'avion.

Mots clés : banc de charge, transformateur redresseur, tests, coûts, maintenance.

Abstract:

The electrical network of the aircraft consists of several components to ensure a proper transmission of the electrical energy to the different equipment. The transformer rectifier is included with these components; it must operate correctly during all phases of the flight. Our work aims to make a theoretical study of the transformer rectifier of the A330, carry his load bank, prove its profitability and dissect the electrical system of the aircraft.

Keywords: load bank, transformer rectifier, tests, costs, maintenance.

Liste des figures:

Figure I.1 : Organigramme de la compagnie Air Algérie.....	5
Figure I.2 : Organigramme de la direction technique.....	6
Figure I.3 : Différentes vues de l'Airbus A330-200.....	9
Figure II.1 : Transformateur monophasé abaisseur de tension.....	14
Figure II.2 : Le transformateur triphasé.....	15
Figure II.3 : Allure d'une tension avant et après un redressement mono alternance.....	18
Figure II.4 : Schéma électrique pour l'obtention d'une tension redressée positive.....	18
Figure II.5 : Allure d'une tension redressée positive.....	19
Figure II.6 : Schéma électrique pour l'obtention d'une tension redressée négative....	19
Figure II.7 : Allure d'une tension redressée négative.....	20
Figure II.8 : Schéma électrique d'un montage de redressement en pont.....	20
Figure II.9 : Les allures de la tension et du courant pour le montage en pont.....	21
Figure II.10 : Schéma électrique d'un redresseur avec un circuit de filtrage capacitif..	23
Figure II.11 : Effet d'un filtre capacitif.....	23
Figure III.1 : Schéma de l'IDG.....	27
Figure III.2 : Schéma du Fonctionnement normal au sol.....	30
Figure III.3 : Schéma du Fonctionnement normal en vol.....	32
Figure III.4 : Schéma du fonctionnement secours en vol avec utilisation du générateur de secours.....	34
Figure III.5 : Schéma du fonctionnement de secours en vol avec utilisation des batteries.....	35
Figure III.6 : Schéma électrique du transformateur redresseur de l'A330.....	41
Figure III.7 : Allure du Transformateur Redresseur de l'A330-200.....	42
Figure III.8 : Emplacement des différents transformateurs redresseurs de l'A330.....	44
Figure IV.1 : Prise mâle utilisée.....	47
Figure IV.2 : Schéma du support des résistances de puissance.....	49
Figure IV.3 : Schéma mécanique du boîtier de commande.....	50
Figure IV.4 : Schéma du support transformateur redresseur.....	51
Figure IV.5 : Schéma mécanique du support ventilateur.....	52
Figure IV.6 : Schéma mécanique du cache pour le banc de charge.....	53

Figure IV.7: Schéma électrique du banc de charge (circuit de commande + circuit de puissance).....	55
Figure IV.8 : Schéma électrique du boîtier de commande.....	56
Figure IV.9 : Schéma explicatif du test d'isolement.....	59
Figure IV.10 : Schéma d'installation d'essai.....	60
Figure V.1 : Le prix du transformateur redresseur de l'A330.....	67

Liste des tableaux :

Tableau II.1. Grandeurs du circuit magnétique.....	12
Tableau II.2 : Les différents couplages du transformateur triphasé.....	16
Tableau II.3 : Principe de fonctionnement d'un redresseur mono-alternance non-commandé.....	17
Tableau IV.1: Outils pour les tests du transformateur redresseur.....	58
Tableau IV.2 : La configuration du test « sans charge ».....	61
Tableau IV.3 : La configuration du test « en charge ».....	61
Tableau IV.4 : Les pannes probables du TR.....	62
Tableau V.1 : Coût des tôles en aluminium.....	64
Tableau V.2 : Coût total du banc de charge.....	65

Liste des abréviations :

AC : Alternating Current

AGLC : APU Generator Line Contactor

APU : Auxiliary Power Unit

ATR : Avions de Transport Régional

BCL : Battery Charge Limiter

BITE : Built-In Test Equipment

BT : Basse Tension

CBMU : Circuit Breaker Monitoring Unit

CGT : Compagnie Générale de Transport

CMC : Centralized Maintenance Computers

CMM : Component Maintenance Manual

CMS : Central Maintenance System

CRM : Crew Resource Management

CSD : Constant Speed Drive

CSM/G : Constant Speed Motor/Generator

DC : Direct Current

DZD : DjaZaïr Dinar

EBHA : Electro Back-up Hydraulic Actuator

ECAM : Electronic Centralized Aircraft Monitor

ECMU : Electrical Contractor Management Unit

EHA : Electro-Hydrostatic Actuator

EMA : Electro-Mechanical Actuator

EPC : External Power Contactor

EPE : Entreprise Publique Economique

EUR : Euro

FADEC : Full Authority Digital Engine Control

Fem : Force électromotrice

Fmm : Force magnétomotrice

GAPCU : Ground and Auxiliary Power Control Unit

GCU : Generator Control Unit

GEN : Generator

GPU : Ground Power Units

HT : Haute Tension

IATA : International Air Transport Association

IDG : Integrated Drive Generator

LED : Light-Emitting Diode

MCDU : Multipurpose Control Display Unit

NBPT : No Break Power Transfer

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PMG : Permanent Magnet Generator

RAT : Ram Air Turbine

SDAC : System Data Acquisition Concentrator

SPA : Société Par Actions

TR : Transformer Rectifier (Transformateur Redresseur)

USD : United States Dollar

INTRODUCTION GENERALE :

Pour sa facilité de maîtrise par rapport aux énergies hydraulique et pneumatique, et la réduction du poids global, l'énergie électrique est de plus en plus utilisée sur les avions modernes.

La génération électrique d'un avion utilise principalement deux types de courants :

- Le courant alternatif qui est produit directement par des alternateurs, ou par les batteries passant par un convertisseur statique en cas d'urgence.
- Le courant continu, produit directement par les batteries en cas d'urgence, ou, en cas de fonctionnement normal, par le passage du courant alternatif à travers des transformateurs redresseurs.

Un banc de charge est essentiel pour la maintenance de certains équipements aéronautiques, car il est impossible de tester certains composants spécifiques de manière durable à bord de l'avion.

Ce travail est essentiellement basé sur l'étude théorique du transformateur redresseur de l'A330-200, et la conception de son banc de charge, et s'articule autour de cinq chapitres.

Dans le premier chapitre, nous allons présenter brièvement la compagnie nationale Air Algérie, l'atelier dans lequel nous avons effectué notre travail et l'Airbus A330.

Le second chapitre sera consacré à l'étude théorique des transformateurs en général, leurs différents couplages, les redresseurs, et le filtre capacitif.

Dans le troisième chapitre qui sera réservé à la génération électrique de l'airbus A330, nous allons traiter les différents fonctionnements des dispositifs électriques à bord de l'avion ainsi que le fonctionnement des transformateurs redresseurs de l'appareil.

Quant au quatrième chapitre, il traitera principalement les étapes de construction du banc de charge, la définition du CMM, son utilisation et les tests du transformateur redresseur.

À travers le cinquième et dernier chapitre nous allons essayer de faire une étude technico-économique qui nous permettra de comparer le coût de la maintenance de l'équipement à l'étranger, et celui de la construction du banc de charge.

Pour clôturer notre travail, une conclusion viendra résumer les résultats auxquels nous avons aboutis.

CHAPITRE I : Présentation du lieu de stage et de l'Airbus A330-200

Pour notre projet de fin d'études, nous avons suivi un stage au sein de la base de maintenance d'Air Algérie, durant lequel nous avons conçu un banc d'essai pour le transformateur redresseur de l'Airbus A330 et ce, au niveau de l'atelier d'électricité statique.

Ce projet a pour but de faire gagner du temps et de l'argent à la compagnie, et également permettre aux techniciens de tester et réparer un nouvel équipement dans les meilleures conditions possibles.

Durant ce chapitre, nous allons vous présenter la compagnie nationale Air Algérie, la base de maintenance, et finalement nous parlerons brièvement de l'Airbus A330-200.

I.1. Présentation de l'entreprise :

La compagnie aérienne nationale algérienne **Air Algérie** a pour code IATA : AH et pour code OACI : DAH.

Elle fut créée en 1947 sous l'ère coloniale portant le nom de « CGT » (Compagnie Générale de Transport) avec un réseau principalement orienté vers la France.

Le 18.02.1963, l'Algérie nationalisera à hauteur de 51% du capital social d'Air Algérie et devient ainsi l'actionnaire principale de la compagnie du transport aérien.

Le 15.02.1972, la compagnie devient entièrement nationale après que l'état eu récupéré le reste des actions détenues par les sociétés étrangères.

Le 30.07.1983 d'après le décret N° 83-405, le transport aérien sur les lignes domestiques est confié à la compagnie « INTER-AIR-SERVICE ». À ce titre Air Algérie répand la dénomination suivante :

« ENTREPRISE NATIONALE D'EXPLOITATION DES SERVICES AERIENS »

Le 17.02.1997 la compagnie devient une EPE Air Algérie (SPA) Entreprise Publique Economique -Société Par Actions- (détenue par le holding service, unique actionnaire publique au compte de l'état).

I.2. Activités et objectifs d'Air Algérie :

AIR ALGERIE est une entreprise de présentation de services dans le domaine des transports aériens de passagers et de fret. Elle est chargée d'assurer :

L'exploitation des lignes aérienne nationales et internationales en vue de garantir les transports publics de personnes, de bagages, du fret et du courrier.

Dans le domaine des activités commerciales :

- La vente et l'émission de titres pour son compte ou pour le compte d'autres compagnies de transport liés pas conventions mutuelles.
- L'achat, et l'affrètement d'aéronefs.
- L'obtention de toute licence, tout permis de survoler et tout autorisation des états étrangers pour l'accomplissement des opérations d'entretien, de répartition, de révision et de toutes opérations de maintenance des équipements et des types d'aéronefs, soit pour son propre compte ou pour le compte des tiers dans le cadre conventions d'assistance mutuelles.

Objectifs :

Air Algérie s'est fixé comme objectifs :

- Une meilleure gestion de l'entreprise afin de fournir aux gestionnaires des informations fiables dans les meilleurs délais impartis.
- L'amélioration de la qualité des services offerte à sa clientèle.
- Gestion du personnel
- Formation du personnel
- Représentation de l'entreprise au sein des organisations nationales et internationales.

I.3. Moyens matériels et humains d'Air Algérie :

I.3.1. Moyens matériels :

La flotte d'Air Algérie comprend les avions suivants, d'un âge moyen de 10.3 ans :

- 5 avions passagers Airbus A330-200 (3 en commande) avec 15 sièges en 1ère classe, 30 sièges en classe Affaires et 192 sièges en classe Economique.

- 12 avions passagers ATR 72-600 (3 en commande) avec 70 sièges en classe Economique.
- 5 avions passagers Boeing 737-600 avec 16 sièges en classe Affaire et 85 sièges en classe Economique.
- 18 avions passagers Boeing 737-800 (8 en commande) avec 24 sièges en classe Business et 141 sièges en classe Economique.
- 3 avions passagers Boeing 767-300 (3 en commande) avec 24 sièges en classe Affaire et 229 sièges en classe Economique.
- 1 avion-cargo Lockheed L-100-30T (2 en commande).

I.3.2. Moyens humains :

Air Algérie a su investir dans la formation du personnel, si bien qu'elle dispose aujourd'hui que d'un personnel de nationalité algérienne, Un personnel de conduites des aéronefs qui lui confère une grande réputation de sécurité.

La maintenance de sa flotte assurée par ses propres moyens:

Un centre hôtelier ou commissariat (catering) lui permettant de couvrir ses besoins au départ de l'Algérie, ainsi que l'assistance des compagnies étrangères. Air Algérie compte aujourd'hui un effectif de 9327 employés, les catégories de son personnel se répartissent comme suit:

- 8140 personnels au sol
- 502 personnels navigants techniques
- 685 personnels navigants commerciaux.

I.4. Organisation de la direction générale de l'entreprise :

Les secteurs d'activités d'Air Algérie sont organisés comme suit :

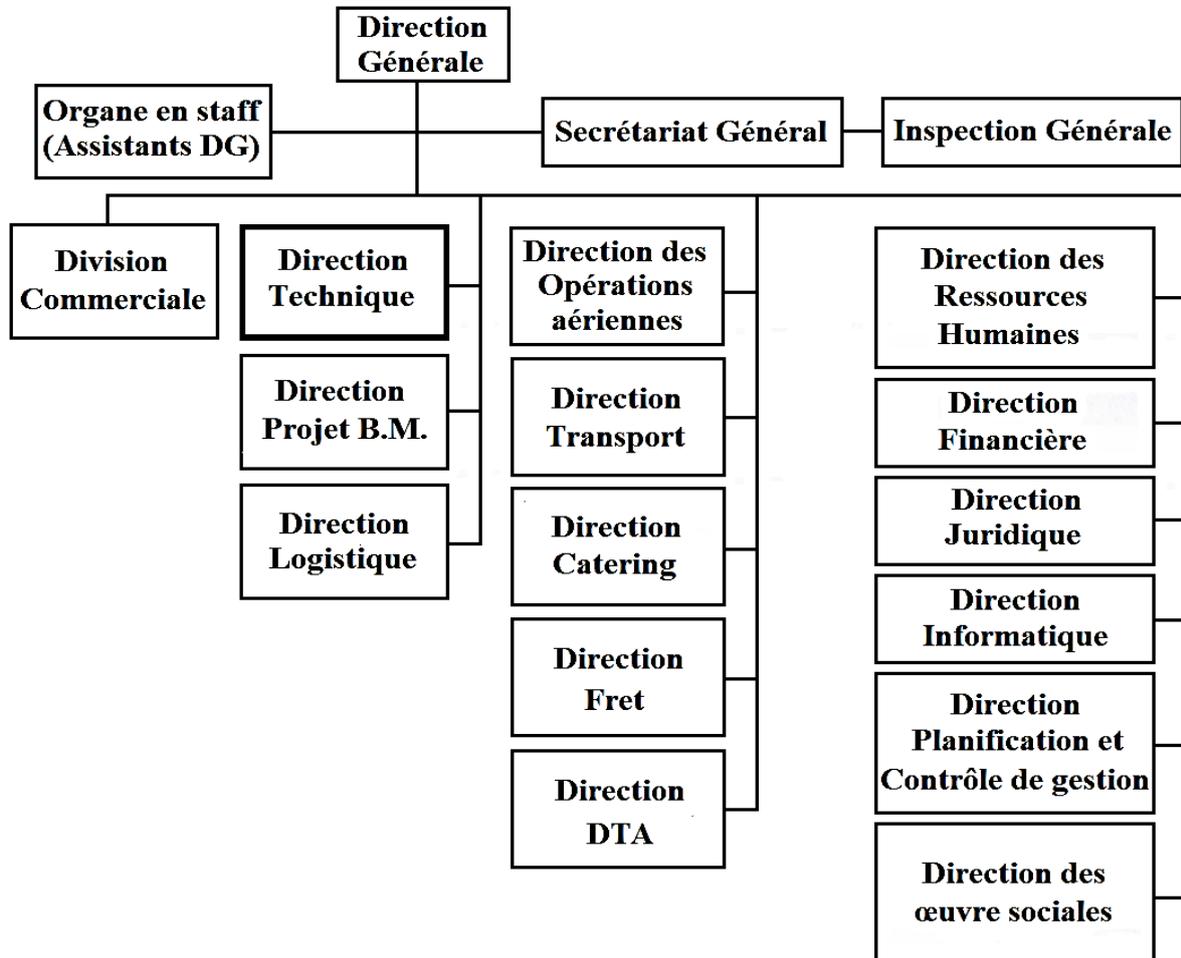


Figure I.1 : Organigramme de la compagnie Air Algérie

- **La direction technique (lieu du stage) :**

La direction technique est chargée d'assurer la maintenance des appareils propres à Air Algérie ainsi que ceux qui lui sont confiés par les étrangers, elle est organisée et structurée pour faire face aux travaux d'entretien de réparation et de révision des équipements et accessoires [11].

Le personnel de maintenance est en majeure partie, des agents ayant un profil technique correspondant aux qualifications requises pour l'entretien des avions et leurs équipements. La direction technique est composée de sous directions comme le montre l'organigramme suivant :

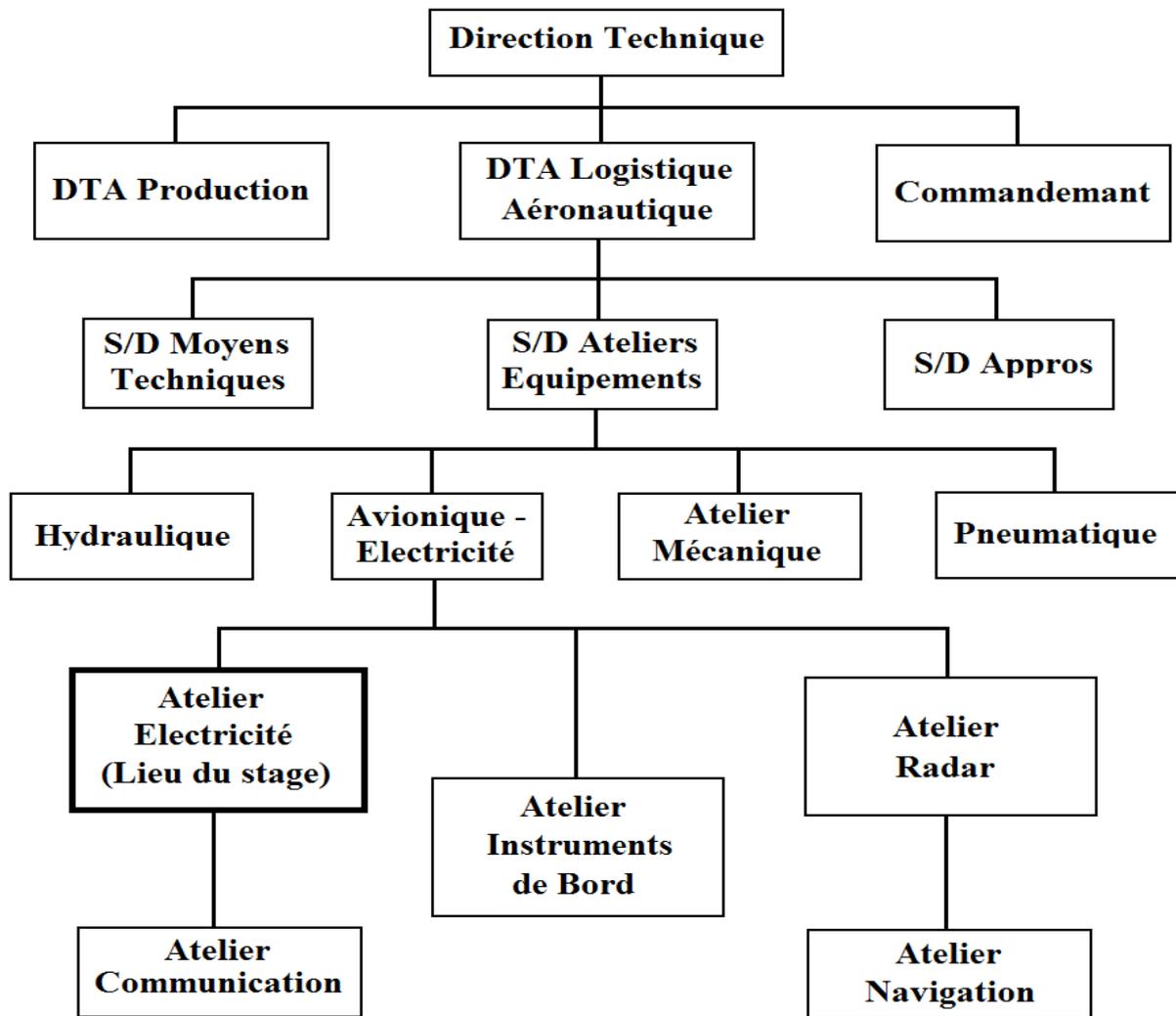


Figure I.2 : Organigramme de la direction technique

- **Atelier Electricité (lieu du stage) :**

La maintenance préventive et curative des équipements statiques et dynamiques sont effectuées au niveau de cet atelier ainsi que les services bulletins qui sont des modifications exécutées suite à la demande du constructeur pour l'amélioration des systèmes et ce pour éviter la répétition de certains problèmes fréquents (accidents, incidents, pannes...).

- **La maintenance non-programmée (curative) :** c'est l'ensemble des opérations ayant pour but la remise en état de l'équipement après détection d'une défaillance.
- **La maintenance programmée (préventive) :** exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, cette maintenance est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement de l'appareil.

I.5. Présentation de l'Airbus A330-200 :

L'Airbus A330 est un avion de ligne long-courrier de moyenne capacité construit par l'avionneur européen Airbus. Il partage son programme de développement avec l'Airbus A340 avec la différence qu'il s'attaque directement au marché des avions biréacteurs. L'A330 partage avec cet appareil le fuselage et les ailes, fuselage qui lui-même est en grande partie emprunté à l'Airbus A300 tout comme le cockpit dont la conception est partagée avec l'A320.

L'A330 est le leader incontesté de sa catégorie. Il a effectué plus de huit millions d'heures de vol en exploitation auprès de 60 clients et utilisateurs, preuve de sa parfaite adéquation sur le marché. Airbus a reçu en janvier 2007 le feu vert pour le lancement industriel de la version cargo A330-200F. Cet appareil pourra transporter 64 tonnes de fret sur un rayon d'action de 7.400km/4.000nm. Le lancement de ce nouvel avion permet de renforcer la présence d'Airbus sur le marché des avions cargo.

L'A330-200 a été développé après le -300, il a effectué son premier vol en 1995. Comparé au -300, il a un fuselage plus court de 5 mètres (identique à celui de l'A340-200), ce qui se traduit bien sûr par une réduction de l'emport de passagers, mais l'emport de carburant est par contre largement accru. L'autonomie y gagne 2000 km. Cet appareil répond donc à la demande créée par la multiplication des vols directs intercontinentaux, il répond au 767-300ER de Boeing.

I.6. Les caractéristiques techniques de l'A330-200 :

Ailes basses en flèches, Winglets, 2 réacteurs sous les ailes, Empennage en flèche, fuselage large.

Dimensions :

Longueur : 58,8 m

Envergure : 60,3 m

Hauteur : 17,4 m

Aire des ailes : 361,6 m²

Diamètre du fuselage : 5,64 m

Masse et capacité d'emport :

Max. à vide : 120 tonnes

Max. au décollage : 230 tonnes

Nombre de places : 295 en 3 classes à 335 en 2 classes

Avionique

Marque avionique et modèle : Rockwell Collins Avionics

Motorisation :

Deux General Electric CF6-80E1, ou Deux Pratt & Deux Whitney PW4000 ou Rolls-Royce RR Trent 700

Poussée unitaire CF6 : 300,3 kN, PW4000 : 286,7 kN, Trent700 : 302,5 kN

Performances :

Vitesse de croisière : 860 km/h

Vitesse maximale : 880 km/h

Vitesse mach : 0.86

Autonomie : 12500km

Rayon d'action : entre 10 500 et 12 500 Km

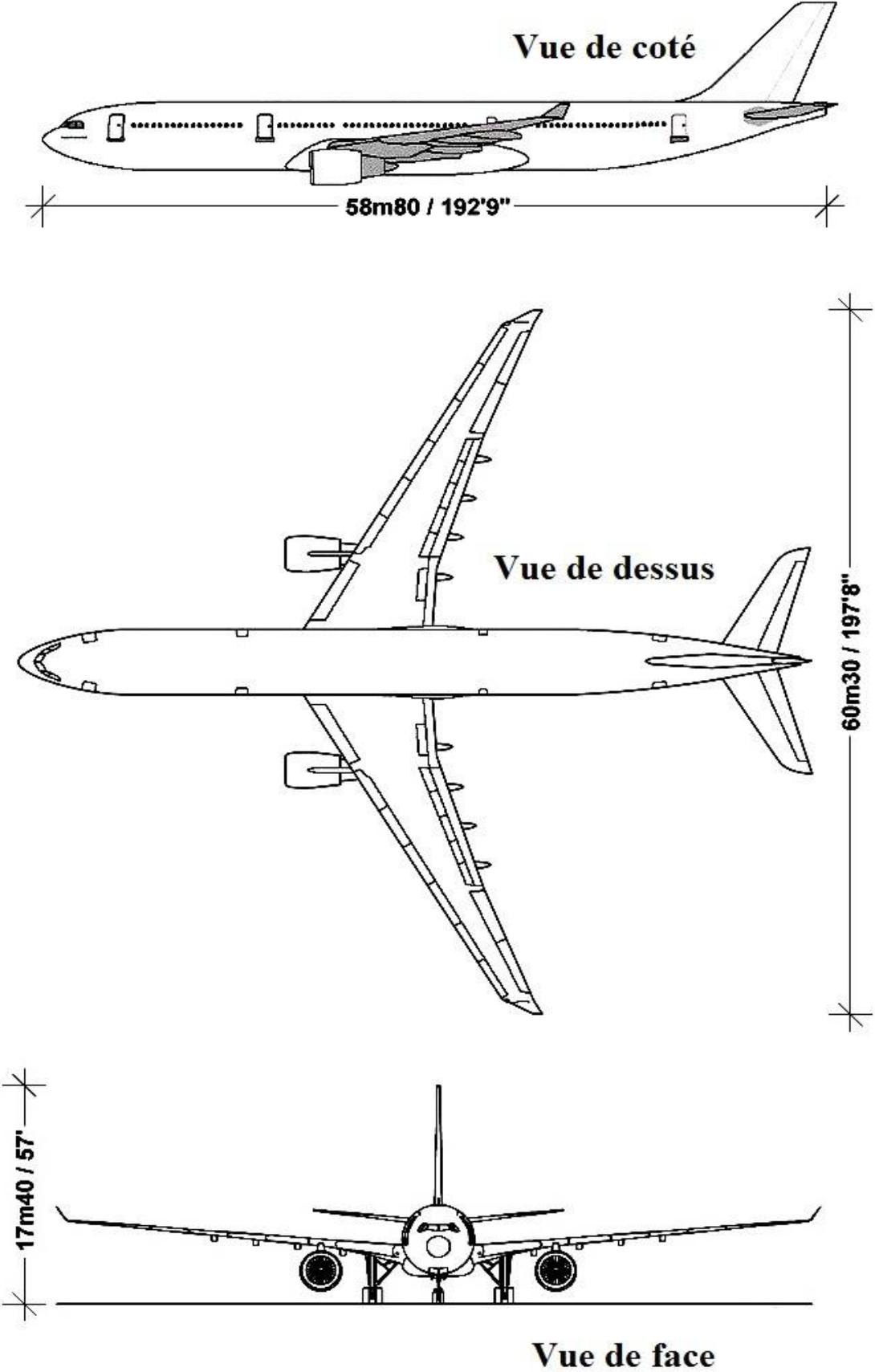


Figure I.3 : Différentes vues de l'Airbus A330-200

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la compagnie nationale AIR ALGERIE, sa direction technique, l'atelier dans lequel nous avons effectué notre travail ainsi que l'appareil sujet de notre projet à savoir l'Airbus A330-200.

Dans le prochain chapitre nous allons effectuer une étude théorique sur les transformateurs en général, les redresseurs et le filtre capacitif, ce qui nous permettra de mieux comprendre le transformateur redresseur de l'A330 et concevoir son banc de charge.

CHAPITRE II : Etude théorique des transformateurs et des redresseurs

Actuellement, l'énergie électrique est essentiellement produite et distribuée sous forme alternative, par contre, beaucoup d'applications nécessitent des formes différentes de cette énergie. Dans ce cas, il faut prévoir un dispositif qui permet la transformation de l'énergie disponible. Au départ, la conversion de l'énergie électrique a été effectuée à l'aide de groupes de machines tournantes, mais ce procédé est actuellement presque entièrement délaissé au profit de dispositifs électroniques, **appelés convertisseurs statiques**.

L'électronique de puissance est l'une des sciences qui traite la conversion statique de l'énergie électrique. C'est la partie de l'électronique spécialisée dans le changement de forme des tensions et des courants électriques associés à l'aspect énergétique des circuits électriques. Cette science ayant le souci de travailler à rendement maximum.

Ce chapitre est consacré à une présentation générale de deux montages de la conversion de l'énergie électrique:

- la modification de la valeur efficace d'une tension alternative (à l'aide des transformateurs).
- la transformation de l'énergie électrique alternative en énergie électrique continue (montages redresseurs).

II.1. Généralités sur les transformateurs :

II.1.1. Définition :

Le transformateur statique est un convertisseur électrique permettant le transfert de l'énergie électrique **sous forme alternative** d'une source à une charge, tout en modifiant la valeur de la tension et d'intensité du courant, et en gardant la même fréquence et la même forme du signal. La tension peut être soit augmentée ou abaissée selon l'utilisation voulue. Le changement d'un niveau de tension à un autre se fait par l'effet d'un champ magnétique [12].

II.1.2. Constitution :

II.1.2.1. Le circuit magnétique :

C'est un ensemble de masses de matériaux magnétiques dans lesquels on instaure une induction. Plus que de l'induction, on parle souvent du **flux Φ** de cette induction.

Les transformateurs font appel à des matériaux magnétiques doux ferromagnétiques ou ferrimagnétiques (Tôles FeSi à grains orientés ou à grains non orientés, tores ferrites...), qui servent à concentrer le flux magnétique, et ont des champs coercitifs H_{EC} et des inductions rémanentes B_r faibles, ce qui fait qu'en absence d'excitation, ils ne créent pas de champ dans leur voisinage.

- **Présentation des grandeurs :**

Le tableau II.1. représente un résumé des grandeurs mises en jeu dans les circuits magnétiques ainsi que des relations de base simplifiées qui les relient :

Nom	Symbole	Equation
Force magnétomotrice (Fmm)	\mathfrak{F} [A-t]	$\mathfrak{F} = n.I$
Intensité du champ magnétique	H [A-t/m]	$H = n.I / l$
Densité du champ magnétique	B [T] [Wb/m ²]	$B = \mu.H$
Perméabilité	μ [Wb/A. m]	$\mu = \mu_0 .\mu_r$
Flux	Φ [Wb]	$\Phi = B . A$
Flux de liaison	λ [Wb-t] [V.S]	$\lambda = n .\Phi$
Inductance	L [H]	$L = \lambda/I = n^2/\mathfrak{R} = n^2/\Lambda$
Reluctance	\mathfrak{R} [A.tours/ Wb] [H ⁻¹]	$\mathfrak{R} = 1/\Lambda$
Perméance	Λ [H]	$\Lambda = \mu_0 .\mu_r . A / l$

Tableau II.1. Grandeurs du circuit magnétique.

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Perméabilité de l'air.

μ_r : Perméabilité relative de matériau ferromagnétique (comprise entre 10^3 et 10^5).

l : Longueur du noyau.

n : Nombre de spires.

A : Section de noyau.

II.1.2.2. Les enroulements :

Un enroulement est l'ensemble des spires formant un circuit associé à l'une des tensions pour lesquelles le transformateur a été établi. Le conducteur électrique utilisé dépend des applications, mais le cuivre est le matériau de choix pour toutes les applications à fortes puissances.

Les fils électriques de chaque tour doivent être isolés les uns des autres afin que le courant circule dans chaque tour. Dans les applications à fortes puissance on entoure les conducteurs de papier diélectrique imprégné d'huile minérale. Pour les plus fortes puissances on utilise des conducteurs multibrins pour limiter l'effet de peau ainsi que les pertes par courant de Foucault.

II.1.2.3. Le système de refroidissement :

Le but du système de refroidissement d'un transformateur est de maintenir les températures des enroulements et de l'isolant à des niveaux acceptables. On utilise essentiellement de l'huile minérale, ou parfois aussi l'air ambiant pour des puissances inférieures à 1 000 kVA.

II.1.3. Les pertes de puissance d'un transformateur :

II.1.3.1. Les pertes par effet Joule :

Les pertes par effet Joule dans les enroulements sont appelées également « pertes cuivre », elles dépendent de la résistance de ces enroulements et de l'intensité du courant qui les traverse : avec une bonne approximation elles sont proportionnelles au carré de l'intensité :

$$\text{Pertes joules} = R.I^2$$

II.1.3.2. Les pertes magnétiques :

Ces pertes dans le circuit magnétique, également appelées « pertes fer », dépendent de la fréquence et de la tension d'alimentation. A fréquence constante on peut les considérer

comme proportionnelles au carré de la tension d'alimentation. Ces pertes ont deux origines physiques :

- Les pertes par courant de Foucault. Elles sont minimisées par l'utilisation de tôles magnétiques vernis, donc isolées électriquement les unes des autres pour constituer le circuit magnétique, ce en opposition à un circuit massif.
- Les pertes par hystérésis, minimisées par l'utilisation d'un matériau ferromagnétique doux.

II.1.4. Principe de fonctionnement du transformateur monophasé:

Le transformateur est constitué de deux enroulements couplés sur un noyau magnétique, comme à la figure :

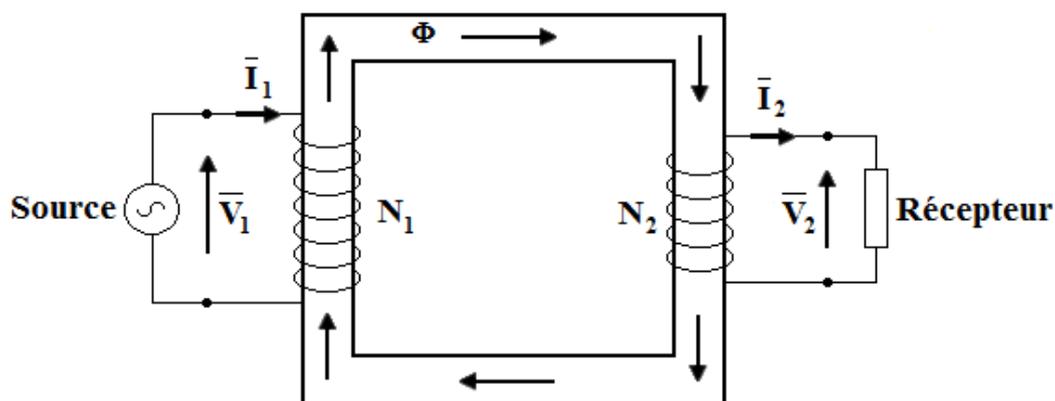


Figure II.1 : Transformateur monophasé abaisseur de tension

Le côté de la source est appelé le **primaire**. Le côté de la charge est appelé le **secondaire**. Il n'existe aucune connexion électrique entre le primaire et le secondaire, tout le couplage entre les deux enroulements est magnétique.

Son principe de fonctionnement est basé sur la loi d'induction électromagnétique (loi de Lenz). En effet, la tension alternative au primaire va créer un flux magnétique alternatif qui en traversant l'enroulement secondaire produira une Fem induite (Loi de Faraday). (Voir annexes A et B)

Le courant alternatif qui circule dans l'enroulement primaire génère un flux magnétique variable dans le noyau. Cette variation de flux induit dans le secondaire un autre courant ou, si le circuit secondaire n'est pas raccordé à un récepteur, y induit une tension.

On dit que le transformateur est à **vide** quand le circuit secondaire est ouvert. Il ne débite alors aucun courant. L'enroulement primaire se comporte dans ce cas comme une self en courant alternatif, une simple inductance qui s'oppose au passage du courant.

Le transformateur fonctionne **en charge** quand un récepteur est raccordé à sa sortie. Le courant débité par le secondaire crée alors un champ magnétique opposé au champ produit par le primaire.

Il y a une égalité quasi parfaite entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommée par l'enroulement primaire.

II.1.5. Le transformateur triphasé :

Trois transformateurs monophasés permettent d'obtenir un système de tension triphasé mais cette solution a l'inconvénient d'occuper un volume trop important pour être réalisée dans un environnement industriel.

La solution technologique retenue est celle présentée ci-dessous : Un circuit magnétique feuilleté fermé composé de 3 colonnes verticales qui supportent les 6 enroulements nécessaires à la réalisation du transformateur triphasé. Dans la solution présentée chaque colonne est affectée à une phase du réseau.

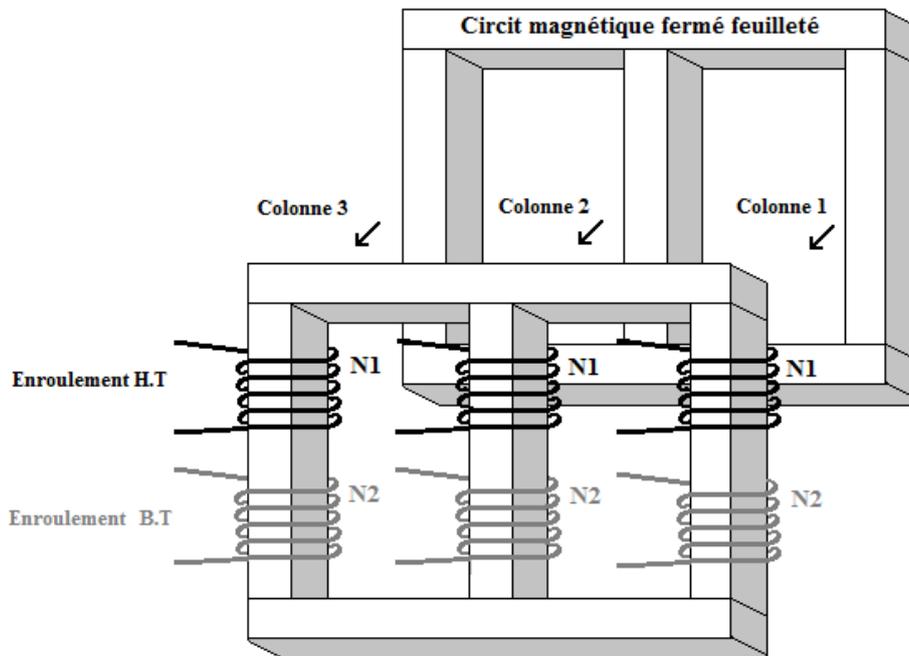


Figure II.2 : Le transformateur triphasé

-Enroulements primaires H.T (Haute Tension)

-Enroulements secondaires B.T (Basse Tension)

II.1.6. Le couplage :

Pour un transformateur triphasé, les enroulements peuvent être connectés de trois manières différentes :

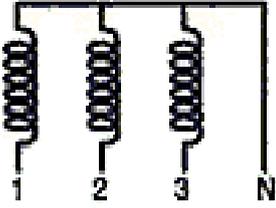
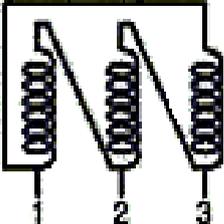
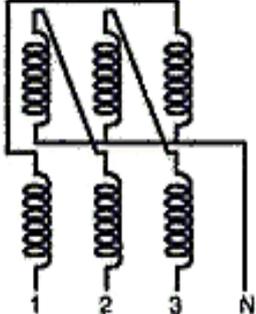
Branchement	Etoile	Triangle	Zigzag
Schéma			
Symbole			
Lettre	Y ou y	D ou d	Z ou z
Remarques	-Il permet la sortie du point neutre, très utile en BT. -Deux tensions sont disponibles : tension simple et tension composée.	-Il nécessite plus de spires par colonne que l'enroulement étoile, il n'y a pas de neutre possible.	-Chaque enroulement comprend deux demi bobines placées sur des noyaux différents ; les sorties de la deuxième demi bobine sont inversées. -Avec le couplage zigzag, on obtient une meilleure répartition des tensions en Cas de réseau BT déséquilibré.

Tableau II.2 : Les différents couplages du transformateur triphasé

II.2. Les redresseurs :

II.2.1. Définition :

Un redresseur, également appelé **convertisseur alternatif/continu**, est un convertisseur électrique destiné à alimenter une charge qui nécessite de l'être par une tension ou un courant continu à partir d'une source de tension alternative monophasée ou polyphasée [12].

II.2.2. Types de redresseurs :

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs **commandés**, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs **non-commandés**, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu.

II.2.2.1. Redressement mono alternance non-commandé :

Ce type de redressement permet de supprimer l'alternance négative d'un signal en conservant l'alternance positive, à l'aide d'une diode en série avec la charge :

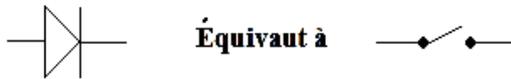
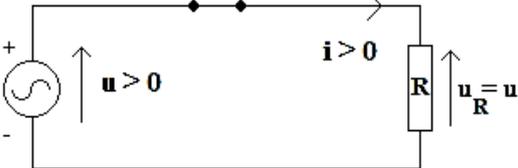
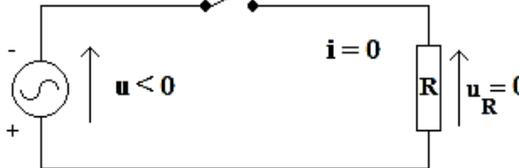
Alternance positive de u ($u > 0$)	Alternance négative de u ($u < 0$)
D est passante	D est bloquée
 <p>Équivaut à </p>	 <p>Équivaut à </p>
<p>D = K fermé</p> 	<p>D = K ouvert</p> 

Tableau II.3 : Principe de fonctionnement d'un redresseur mono-alternance non-commandé

La tension de sortie du convertisseur ressemble à la courbe ci-dessous où la courbe du haut représente la tension d'entrée et celle du bas la tension en sortie du redresseur.

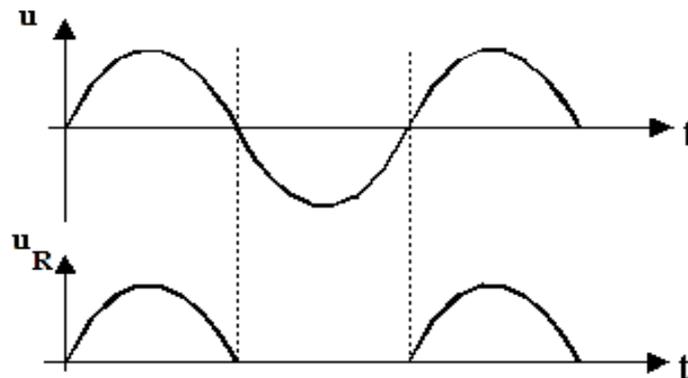


Figure II.3 : Allure de la tension avant et après un redressement mono alternance

II.2.2.2. Redressement double alternance non-commandés :

Ce type de redressement permet de récupérer la partie de l'onde perdue avec le redresseur mono-alternance. Il existe deux montages de base : le montage à partir d'un transformateur d'alimentation avec un point milieu et le montage en pont.

❖ L'étude d'un montage redresseur à diodes en pont :

▪ Obtention d'une tension redressée positive :

La figure ci-dessous montre un système q-phasé de tensions (v_1, v_2, \dots, v_q) sinusoïdales, de valeur efficace V , déphasées de proche en proche de $2\pi/q$ et de pulsation ω . q diodes sont appliqués à ce système.

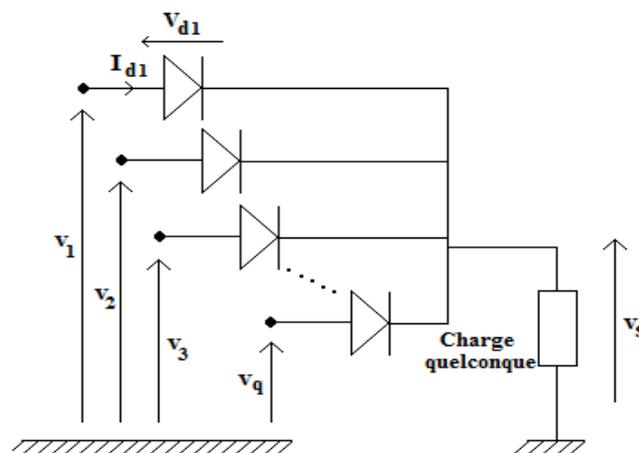


Figure II.4 : Schéma électrique pour l'obtention d'une tension redressée positive

- Une seule diode peut conduire à la fois, sinon cela imposerait une tension instantanée identique sur deux phases ce qui est impossible. La diode qui conduit, à un instant t donné, est celle qui a le potentiel d'anode le plus élevé (ce qui impose une tension négative aux bornes des autres diodes qui, ainsi sont bloquées).
- Lorsque la diode (i) conduit, la tension à ses bornes est nulle alors que la tension appliquée à la charge est v_i .
- Lorsque la diode (i) est bloquée, la tension à ses bornes est négative et la tension de sortie est successivement, par ordre de conduction, celle des autres phases. La tension est alors la différence entre la tension de la phase (i) et celle de la phase qui conduit (là où la diode est passante).

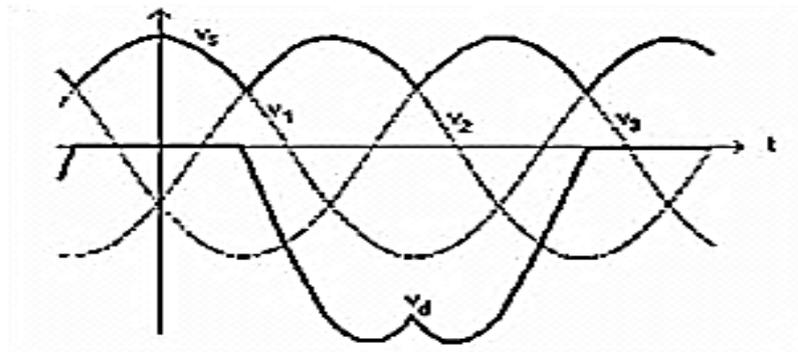


Figure II.5 : Allure d'une tension redressée positive

La tension moyenne de sortie est donnée par :

$$U_s = \frac{q}{\pi} \cdot V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

- Obtention d'une tension redressée négative :

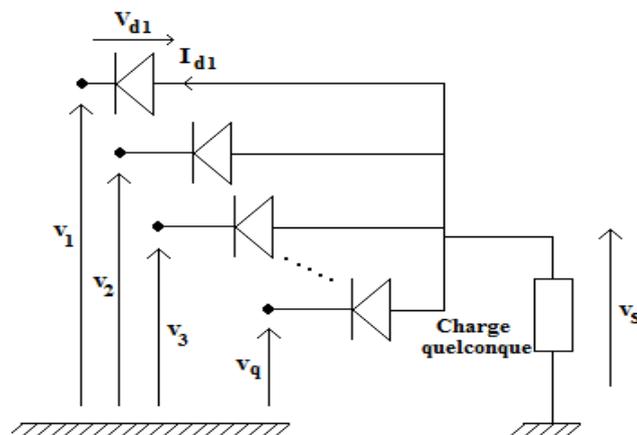


Figure II.6 : Schéma électrique pour l'obtention d'une tension redressée négative

- Une seule diode peut conduire à la fois, sinon cela imposerait, là encore, une tension instantanée identique sur deux phases ce qui est impossible. La diode qui conduit, à un instant t donné, est celle qui a le potentiel de cathode le plus faible (négatif), ce qui impose une tension négative aux bornes des autres diodes qui, ainsi sont bloquées.
- Lorsque la diode (i) est bloquée, la tension à ses bornes est négative et la tension de sortie est successivement, par ordre de conduction, celle des autres phases. La tension est alors la différence entre la tension de la phase (i) et celle de la phase qui conduit (là où la diode est passante). Globalement, on obtient bien une tension redressée v_s négative.

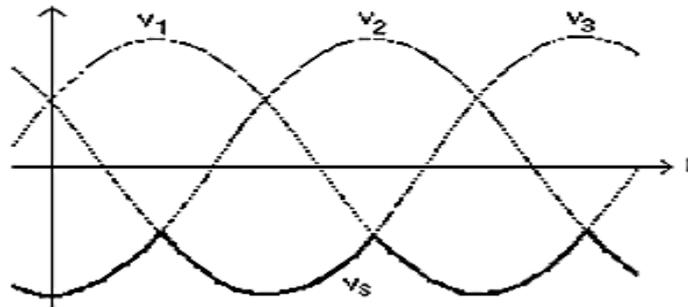


Figure II.7 : Allure d'une tension redressée négative

La tension moyenne de sortie est:

$$U_s = -\frac{q}{\pi} \cdot V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

Concernant les données sur le courant et la tension pour la diode, elles restent inchangées. Seul le sens du courant a changé.

▪ **Le montage en pont :**

Un montage en pont se présente sous la forme suivante:

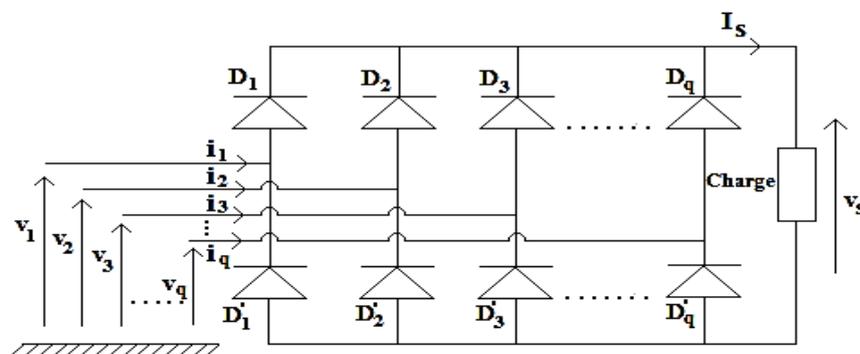


Figure II.8 : Schéma électrique d'un montage de redressement en pont

- Les diodes (D_1, D_2, \dots, D_q) correspondent à un système décrit en (obtention d'une tension redressée positive) de tension de sortie u_{s1} et les diodes (D'_1, D'_2, \dots, D'_q) à un système décrit en (obtention d'une tension redressée négative) de tension de sortie négative u_{s2} .
- La tension de sortie de ce nouveau système est :

$$u_{MN} = u_s = u_{MO} - u_{NO} = u_{s1} - u_{s2}$$

- Par conséquent, la tension moyenne de sortie est donnée par :

$$U_s = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

Dans le cas d'un système triphasé, les allures de la tension de sortie et du courant i_1 sont les suivantes:

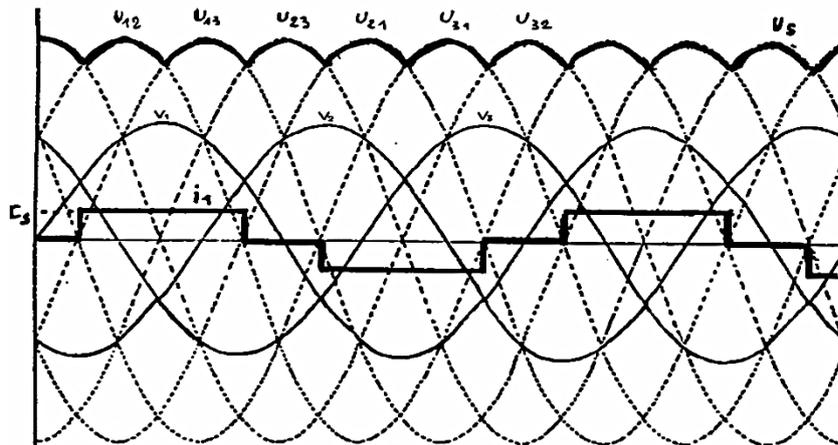


Figure II.9 : Les allures de la tension et du courant pour le montage en pont

Quand i_1 est positif, D_1 conduit, alors que quand i_1 est négatif, c'est D'_1 . Sinon, après D_1 , c'est D_2 , puis D_3 et après D'_1 , c'est D'_2 et D'_3 . Connaissant les diodes qui conduisent, on en déduit la tension de sortie instantanée prend alternativement la valeur des tensions composées.

- Ce système permet encore de réduire l'ondulation de tension par rapport à une structure simple.
- Quand on associe un transformateur au système, les courants ne comportant pas de valeur moyenne, ils auront la même valeur efficace au primaire et au secondaire (pour un rapport de transformation unitaire). La puissance apparente au primaire et au secondaire sera donc identique, ce qui veut dire que les facteurs de puissance primaire et secondaire seront identiques.

II.2.3. Problème des chutes de tension en charge :

Phénomènes à prendre en compte :

- La valeur de la tension de sortie est en réalité inférieure à celle qui est attendue. En effet, on doit prendre en compte les résistances du transformateur (primaire et secondaire pour chaque phase), la résistance dynamique des interrupteurs et les inductances (ramenée par le réseau, inductance de fuite du transformateur) qui empêchent les commutations de courant d'être instantanées.
- La chute de tension liée à la résistance du transformateur dépend du couplage de ce dernier. On l'établit en faisant un bilan des pertes Joules dues aux enroulements. La puissance dissipée de cette façon est considérée comme égale à $R_{eq}.I_c^2$ avec R_{eq} résistance apparente modélisant la chute de tension dans le transformateur, vue du côté continu.
- Concernant les interrupteurs, on en a toujours un en conduction dans les structures simples et deux dans les structures en pont. Si ρ est la résistance d'un interrupteur, la chute de tension due à ces derniers sera donc ρ ou 2ρ suivant les cas.
- Le fait que la commutation de courant ne soit pas instantanée entraîne aussi un effet que l'on représente par une chute de tension. C'est le phénomène d'empiétement. Il n'a bien entendu rien à voir avec l'effet Joule.

II.3. Le circuit de filtrage capacitif :

Les redresseurs permettent de convertir une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée pulsée, c'est-à-dire une tension variable mais de signe constant. Cependant pour l'obtention d'une tension continue de valeur sensiblement constante, il est nécessaire de réduire au maximum cette variation de tension. Cette opération représente le rôle des composants de filtrage.

Le filtre joue un double rôle :

- Réduire la composante alternative d'une onde.
- Augmenter le niveau de tension continue (tension moyenne) d'un circuit redresseur.

II.3.1. Principe de fonctionnement d'un filtre capacitif :

Cette étude sera basée sur le filtre capacitif qui consiste en un condensateur C placé en parallèle avec la résistance de charge :

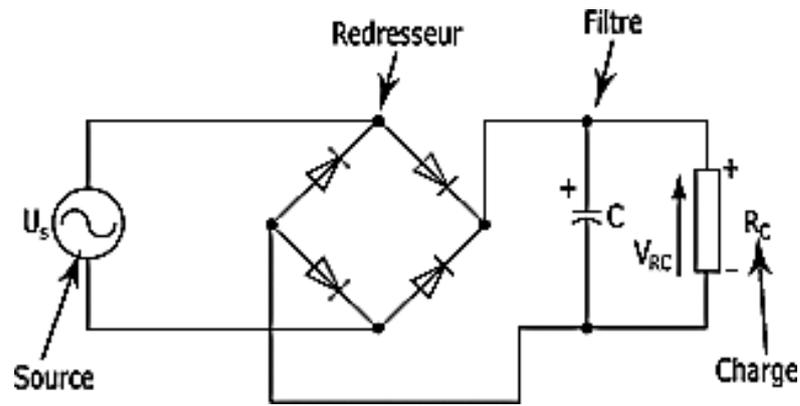


Figure II.10 : Schéma électrique d'un redresseur avec un circuit de filtrage capacitif

Comme le condensateur a pour propriété de s'opposer à toutes variations brusques de tension, il empêche la tension minimale de sortie du redresseur d'atteindre un potentiel nul. La charge du condensateur maintient plutôt cette tension minimale tout près de la valeur V_{max} .

La figure suivante présente les courbes de tension de sortie des redresseurs simple et double alternance sous l'effet d'un filtre capacitif :

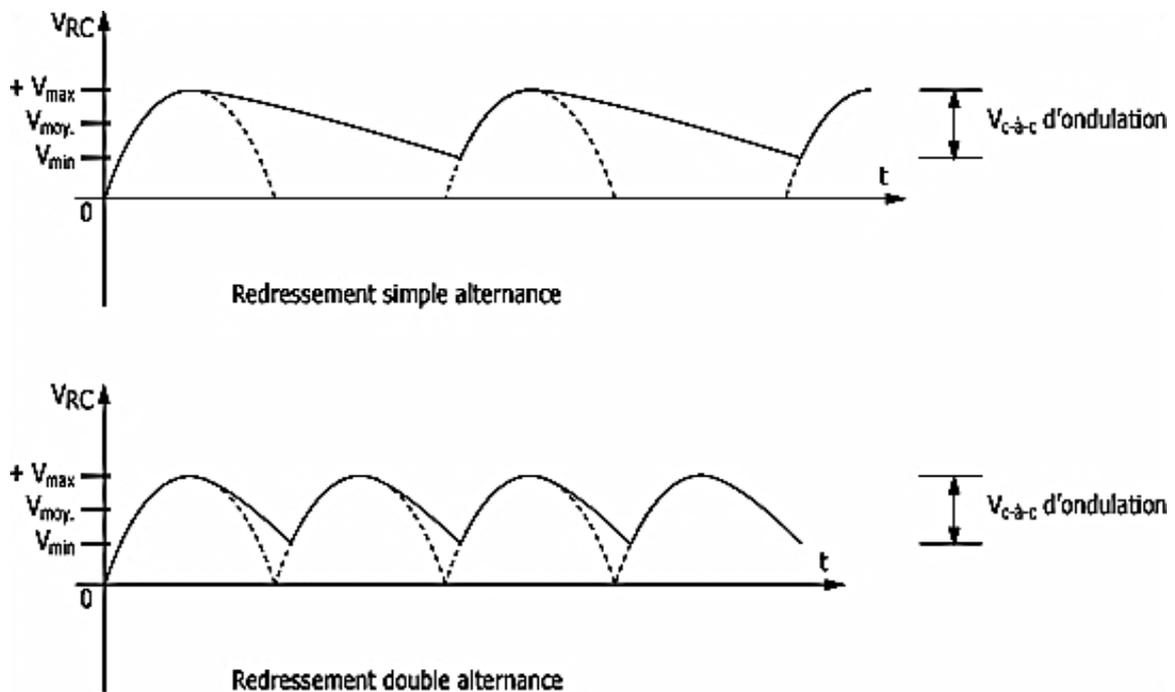


Figure II.11 : Effet d'un filtre capacitif

- Les traits pointillés sont associés à la tension de sortie des redresseurs sans filtre.
- Les traits pleins représentent la tension de sortie sous l'influence d'un condensateur de filtrage.
- Ceci a pour effet de rapprocher la valeur de la composante continue (V_{moy}) à une valeur plus près de V_{max} .

II.3.2. Choix du condensateur :

- Comme le filtrage exige des condensateurs de fortes capacités, des condensateurs électrolytiques sont utilisés dans les circuits de filtrage.
- En pratique, on fait usage des condensateurs de valeur élevée, de l'ordre de $1000\mu\text{F}$ à $4000\mu\text{F}$.
- Le condensateur de filtrage se branche en parallèle avec la résistance de charge. Il doit pouvoir supporter entre ses bornes une tension continue au moins égale à la tension maximale de sortie.

Conclusion :

Au début de ce chapitre on a donné quelques généralités et notions de base sur les transformateurs de puissance, ensuite on a fait l'étude d'un montage redresseur à diodes en pont puis on a expliqué le principe de fonctionnement d'un filtre capacitif. L'étude théorique de ces derniers va permettre de mieux comprendre le fonctionnement d'un transformateur redresseur de l'Airbus A330 qui sera présenté dans le chapitre III.

CHAPITRE III : Génération électrique de l'Airbus A330-200

Le besoin énergétique auxiliaire est important dans un avion. Permettant d'assurer les performances, la sécurité et le confort, les énergies de servitude sont indispensables. Pour diriger un avion de taille importante (déplacer les surfaces aérodynamiques), seule la force de l'homme ne suffit pas, pour cela il est nécessaire d'actionner les commandes de vol adéquates pour réaliser ces mouvements, une autre source d'énergie est donc indispensable.

Il y a ensuite l'alimentation des équipements électroniques nécessaires à la navigation, et les instruments de contrôle, et puis enfin, l'éclairage et les appareils de cuisson qui requièrent une énergie conséquente. Les énergies utilisées sont de différentes natures, hydrauliques, pneumatiques ou encore électriques, et ce sont les moteurs de l'avion qui alimentent divers équipements permettant de générer ces énergies.

Ce chapitre traitera la génération électrique de l'Airbus A330-200, cette dernière est obtenue par entraînement mécanique. Un générateur produit l'électricité nécessaire à l'alimentation des différents équipements, calculateurs, commande d'actionneurs, instruments de navigation etc.

III.1. Systèmes de contrôle et management :

Afin de contrôler, protéger et gérer toutes les sources d'énergie et le réseau électrique, plusieurs ordinateurs sont intégrés dans le système électrique.

Le GCU (Generator Control Unit) : le circuit électrique comporte deux GCUs identiques qui permettent de gérer, contrôler et protéger les IDG des moteurs. Chaque IDG est contrôlé et surveillé par son propre GCU. Tous les CGU sont entièrement identiques et interchangeables et ont ce qui suit comme fonctions principales :

- Contrôle, surveillance et protection de l'IDG (GEN+CSD)
- Régulation du voltage et de la fréquence du générateur
- Interface avec le FADEC (Full Authority Digital Engine Control)
- Interface avec le CMS (Central Maintenance System) à travers le GAPCU pour les fonctions du BITE.

Le GAPCU (Ground and Auxiliary Power Control Unit): contrôle, gère et protège les deux groupes de parc A et B et l'APU. Il est également une interface pour le BITE du GCU et pour le système de maintenance central (CMS).

L'ECMU (Electrical Contractor Management Unit): Deux unités de gestion de Contacteur électrique (ECMU) contrôlent les principaux contacteurs de puissance électrique AC et DC, pour gérer les priorités de la source de puissance, qui permettent la reconfiguration des sources d'alimentation principale. En outre, les ECMU également autorisent et supervisent la fonction NBPT entre les sources d'énergie disponibles et gèrent les équipements dans la cabine pour éviter une surcharge prolongée sur les sources d'alimentation en courant alternatif.

CSM/G GCU (Constant Speed Motor/Generator GCU): Un CSM/G GCU contrôle, surveille et protégé le CSM/G (générateur de secours).

BCL (Battery Charge Limiter): Trois BCL identiques et interchangeable contrôlent, surveillent et protègent les batteries.

CBMU (Circuit Breaker Monitoring Unit): Un CBMU est installé pour la surveillance des disjoncteurs.

III.2. Réseaux électriques et sources auxiliaires de l'A330-200 :

Le réseau électrique d'un avion est constitué d'une partie alternative triphasée 115/200V-400Hz, et d'une autre continue 28V, sur l'A330 le réseau primaire est alternatif et le sous-réseau est continu, la puissance installée atteint les 300KVA.

Sur chaque réacteur est couplé un IDG (Integrated Drive Generator) permettant la génération électrique normale (115/200 V AC). L'IDG est entraîné en rotation par le compresseur haute pression, tout comme la pompe hydraulique. Chaque générateur alimente un des bus alternatifs principaux (AC BUS). Pour l'A330 (ou un bimoteur en général), il existe deux réseaux fonctionnant totalement indépendamment l'un de l'autre. Cependant, l'un des deux générateurs prend en charge l'alimentation d'un autre bus pour lequel l'IDG associé aurait été perdu suite à une défaillance. Le réseau continu (28 V DC) est obtenu à partir du réseau alternatif, à l'aide de plusieurs blocs transformateurs redresseurs (TR).

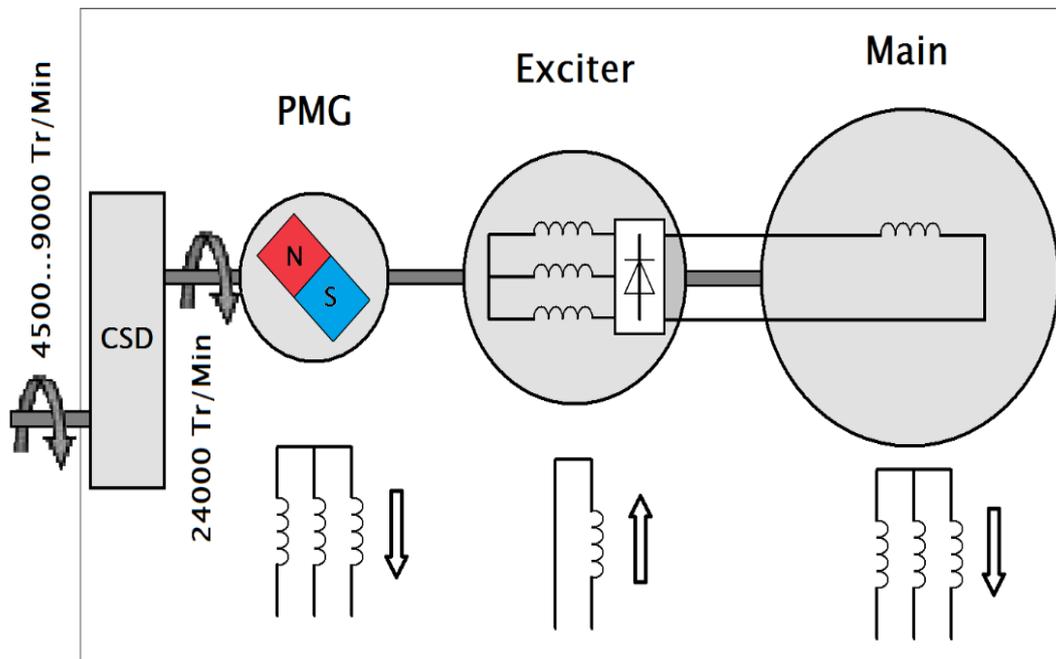


Figure III.1 : Schéma de l'IDG

Sur l'A330-200, plusieurs sources auxiliaires sont embarquées, dont **des batteries** qui peuvent être utilisées pour la mise sous tension de l'avion, et qui assurent la continuité de l'électricité pendant une certaine période en cas d'urgence, et ce jusqu'à l'atterrissage. A elles seules, ces batteries initialement chargées peuvent maintenir un niveau de tension suffisant pendant plusieurs minutes. Un **CSM/G (Constant Speed Motor / Generator)**, qui est le générateur électrique de secours. Il permet de générer de l'électricité en 115/200 V – 400 Hz, à partir d'un circuit hydraulique. De faible puissance, il alimente la partie vitale du réseau électrique en cas de perte des générateurs principaux. Il est alimenté par la RAT ou par le moteur hydraulique suivant le type de panne. Sa puissance est de l'ordre de 10 kVA.

Un **APU (Auxiliary Power Unit)** qui est un groupe fonctionnant au kérosène. La turbine entraîne un alternateur triphasé 115/200 V – 400 Hz. Ce groupe est normalement utilisé au sol pour la génération d'air pour le démarrage des moteurs en autonome et le conditionnement de la cabine. La puissance de son générateur électrique est du même ordre de grandeur que celle d'un IDG. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'APU n'est pas un élément de secours. En effet, l'avion est prévu pour décoller et fonctionner normalement sans ce dernier. En outre, sa disponibilité est contestable, car le démarrage de la turbine n'est pas

assuré dans tout le domaine de vol (en particulier à altitude élevée) à puissance électrique. Certains vérins hydrauliques deviennent alors des EHA (Electro-Hydrostatic Actuator), et certains moteurs hydrauliques deviennent des EMA (Electro-Mechanical Actuator). D'autres actionneurs offrent la possibilité d'utiliser l'électricité uniquement en back-up et fonctionnent normalement avec l'hydraulique avion ; ce sont les EBHA (Electro Back-up Hydraulic Actuator). Chaque surface de commande de vol est généralement activée par deux actionneurs différents. La répartition des actionneurs par voie d'alimentation (hydraulique ou électrique) est effectuée judicieusement de manière à garder le contrôle de l'avion en cas de perte d'un ou plusieurs circuits.

Au sol on trouve deux groupes de parc A et B, constituant une source d'énergie externe et utilisés au sol en cas de besoin, et dont les deux récepteurs sont situés à l'arrière du train d'atterrissage du nez de l'avion pouvant alimenter le réseau électrique en entier au moyen d'une ou deux GPU (Ground Power Units). Les EPC permettent au GPU d'être raccordé au circuit de transfert, ces contacteurs sont contrôlés et surveillés par le GAPCU et les ECMU.

L'APU et les deux groupes de parc sont surveillés et contrôlés au sol par le GAPCU (Ground and Auxiliary Power Control Unit) et les ECMU (Electrical Contractor Management Units) via les contacteurs associés (contacteurs d'alimentation externe (EPC) et le contacteur du générateur APU en ligne (AGLC)).

III.3. Fonctionnement normal au sol :

Pour le fonctionnement normal du circuit électrique au sol, les deux groupes de parc A et B sont utilisés, et le relais du milieu SIC s'ouvre automatiquement, le groupe A alimente le côté gauche du circuit en fermant le relais EPC A et BTC2 en passant par l'AC BUS 2, le groupe B alimente le côté droit en passant par l'AC BUS 1 en fermant les relais EPC B et BTC1. Si le relais SIC est fermé, l'un des deux groupes alimente tout le système.

Les groupes de parc produisent un courant alternatif qui va passer par les BUS de distribution du courant alternatif, une partie de ce courant alimentera les AC SERVICE BUS pour le fonctionnement des éléments nécessitant du courant alternatif. Une autre partie de ce courant passera par des transformateurs redresseurs pour la production du courant continu.

La production du courant continu est réalisée par le passage du courant alternatif par les transformateurs redresseurs, qui vont transformer ce dernier pour l'alimentation des BUS de distribution continue. Il existe quatre transformateurs redresseurs sur l'A330-200 ; deux pour les DC BUS 1 et 2, un troisième appelé l'APU TR pour charger la batterie APU, et enfin un 4^{ème} pour l'alimentation de la BUS essentielle qui va charger les batteries en permanence.

L'APU est également utilisée pour la génération normale en sol, et ce en ouvrant les relais GLC 1 et GLC2, et en fermant les relais APU GLC, BTC1 et BTC2.

Un schéma du fonctionnement normal au sol avec l'utilisation des groupes de parc A et B est représenté sur la page suivante.

III.4. Fonctionnement normal en vol :

Le schéma du fonctionnement normal en vol est en quelque sorte calqué sur celui du fonctionnement normal au sol, ceci dit, pour le fonctionnement normal en vol l'énergie est produite par la rotation des moteurs 1 et 2 est utilisée, cette dernière passe par les générateurs 1 et 2 qui vont produire un courant alternatif, qui par la suite alimentera les AC BUS 1 et 2 et ce après la fermeture des relais GLC1 et GLC2 et l'ouverture des relais BTC1 et BTC2, le générateur 1 alimentera donc le côté gauche de l'appareil à travers l'AC BUS 1 tandis que le générateur 2 alimentera le côté droit à travers l'AC BUS 2.

Les deux BUS AC serviront à l'alimentation des équipements fonctionnant avec du courant alternatif, l'AC BUS1 alimentera la DC BUS1 en passant par le TR1, tandis que l'AC BUS2 alimentera la DC BUS2 en passant par le TR2, et servira à charger la batterie de l'APU en passant par l'APU TR. Un courant venant soit de l'AC BUS 1 ou 2 passera par l'ESS TR et servira à charger les batteries.

Le schéma du fonctionnement normal en vol, avec l'utilisation des deux générateurs est représenté sur la page suivante.

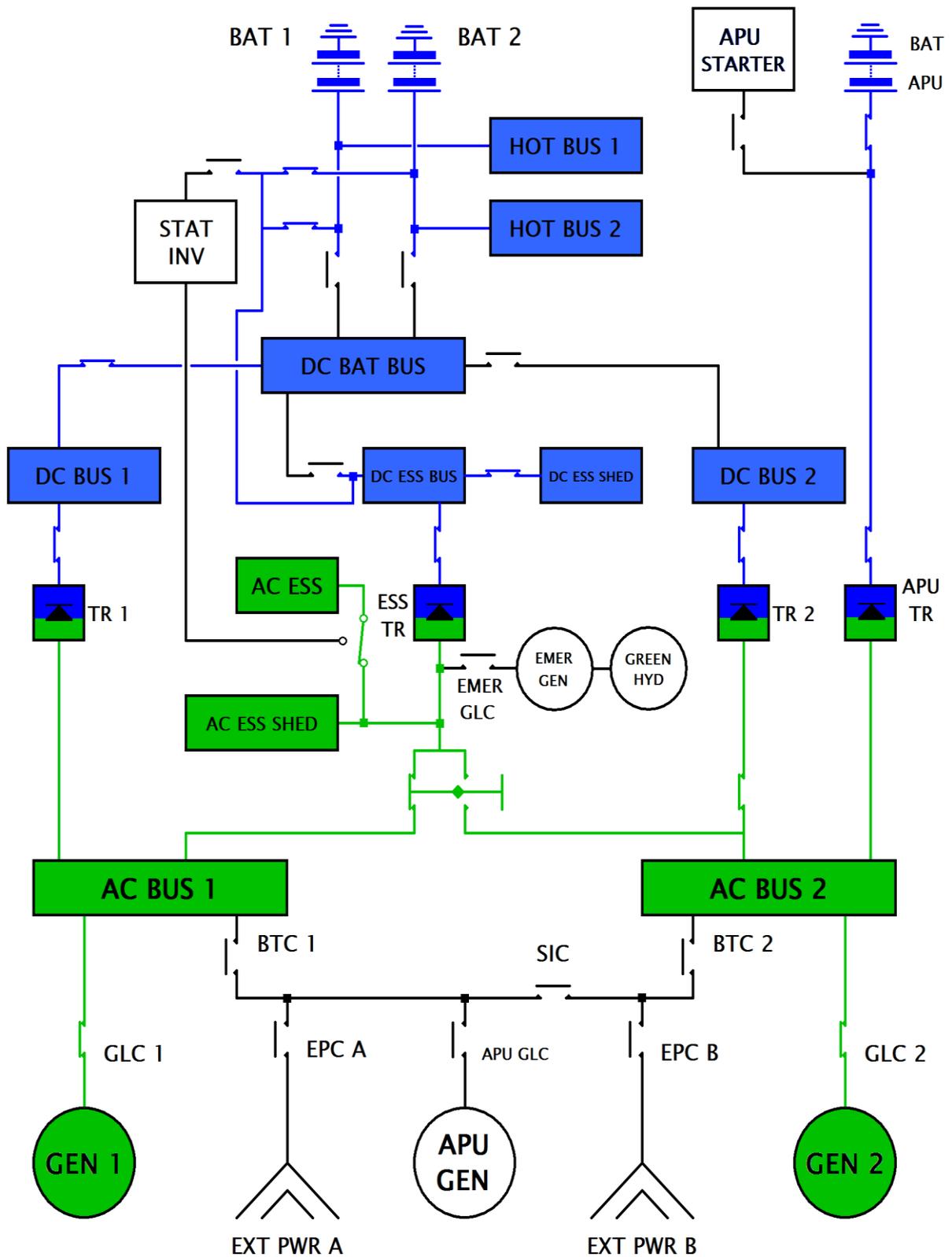


Figure III.3 : Schéma du Fonctionnement normal en vol

III.5. Génération de secours en vol :

Sur un avion bimoteurs ; dans notre cas l'A330-200, en cas de panne d'un seul générateur, le 2^{ème} prend en charge son rôle et alimente tout le circuit électrique de l'avion, en cas de panne des deux générateurs, l'équipage est dans l'obligation de faire appel aux sources auxiliaires.

Le système de génération d'urgence alternatif est utilisé pour restaurer l'alimentation électrique au réseau ESSENTIAL AC et DC en cas de perte des principaux bus AC. En cas de perte des AC BUS 1 et 2, le générateur de secours (CSM/G) se déclenche automatiquement par la fermeture du relai EMER GLC, et cela prend approximativement 7 à 10 secondes, quand ce dernier est disponible, il alimente directement l'AC ESS BUS, quant à la DC ASS BUS, elle est alimentée par ce dernier à travers l'ESS TR, et ce jusqu'à la fin du vol et ce dans le cas où le CSM/G est alimenté par le moteur entraîné par une pompe hydraulique, dans le cas où ce dernier est alimenté par la RAT, la charge électrique sera automatiquement réduite et ce, par l'ouverture du contacteur 16XH pour l'AC ESS BUS SHEDdable 401XP et du contacteur 1PH pour la DC ESS BUS SHED 8PP pour couper l'alimentation de ces BUS.

Si le contrôle automatique échoue, le CSM/G peut être démarré manuellement en appuyant sur le ON P / BSW situé sur le panneau d'alimentation électrique de secours sur le panneau 211VU. Quand le CSM/G est démarré manuellement, il a la priorité sur les autres sources principales (GEN, APU GEN...) sur les réseaux ESS AC et DC.

Quand le CSM/G n'est pas disponible (becs sortis), l'équipage fait appel aux batteries, ces dernières alimentent la DC ESS BUS directement, et l'AC ESS BUS à travers le convertisseur statique, et ce pour un minimum de 30minutes.

Deux schémas du fonctionnement secours en vol sont présentés sur les deux prochaines pages.

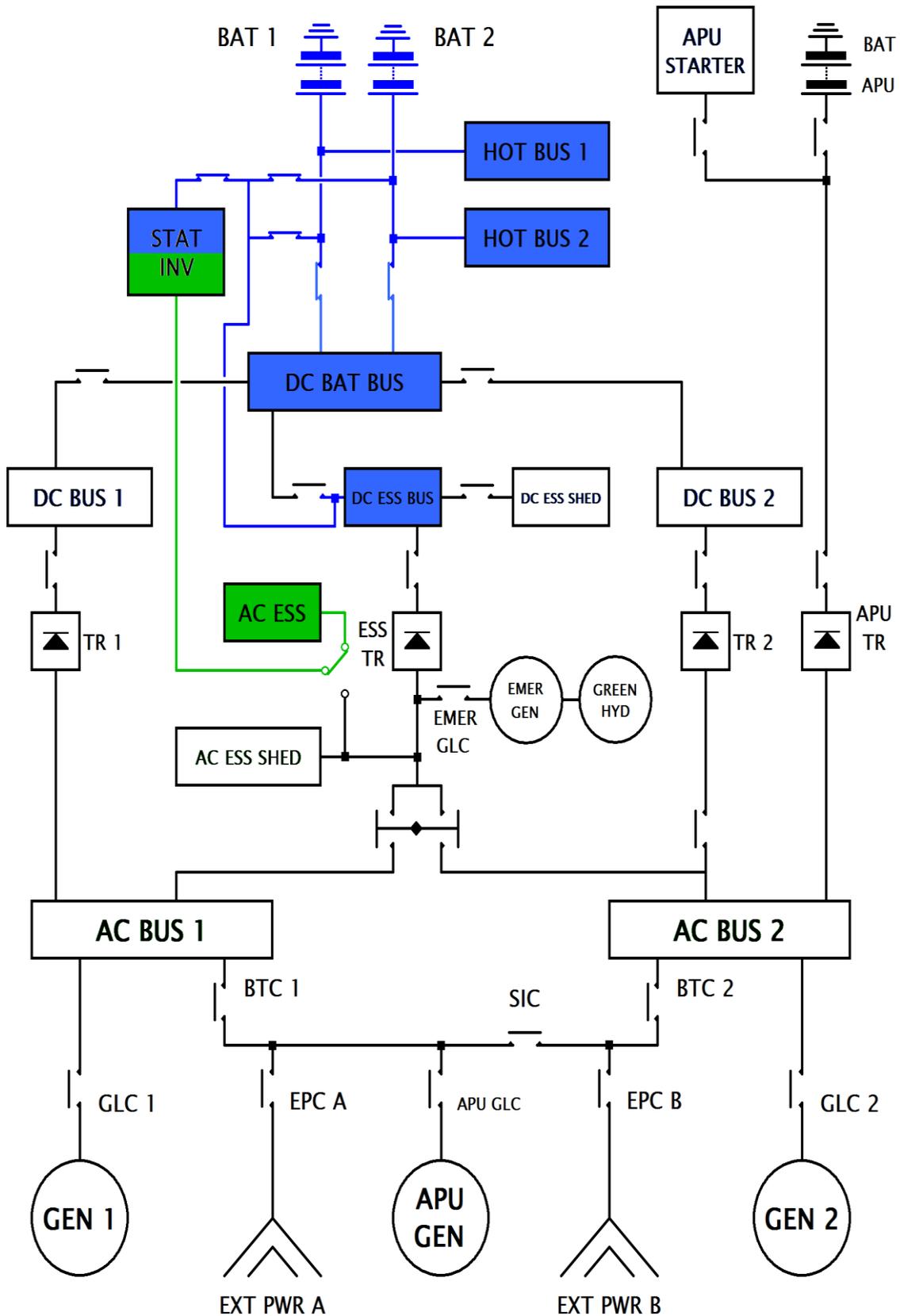


Figure III.5 : Schéma du fonctionnement de secours en vol avec utilisation des batteries

III.6. Transformateur redresseur de l'A330-200 : (voir annexes C, D et E)

Il existe quatre transformateurs redresseurs sur l'A330-200, TR1, TR2 (200A de charges chacun), APU TR et l'ESS TR (100A de charges chacun), chacun des transformateurs redresseurs (TR) assure la conversion entre le bus bar alternatif (115V-400Hz) et continu (28VDC). C'est un système qui facilite le filtrage des harmoniques de courant générées et permet de réduire les ondulations de tension en sortie.

Les quatre transformateurs redresseurs deviennent opérationnels dès qu'ils sont alimentés par la barre BUS AC associée. Si le TR1 est défectueux, la DC BUS1 et la DC BAT BUS sont alimentées par le TR2 à travers les contacts contrôlés par l'ECMU. Si le TR2 est défectueux, la DC BUS2 est alimentée par le TR1 à travers les mêmes contacts.

En cas de perte de l'ESS TR, la DC ESS BUS et la DC ESS SHED BUS sont alimentées par la DC BAT BUS.

- **Le transformateur redresseur1 (TR1) :**

Le TR1 sert à convertir les 115Volts AC de la AC BUS1 en 28Volts DC.

Sa carte de surveillance est alimentée par les 28VDC internes, et de la BUS 401PP qui est utilisée pour l'alimentation de secours.

La sortie des 28VDC est connectée à la DC BUS1 à travers un contact appelé 5PU1.

- **Le transformateur redresseur2 (TR2) :**

Le TR2 sert à convertir les 115volts AC de la AC BUS2 en 28Volts DC à travers le contact 2PU, ou à travers le contact 6XX au sol avec seulement le groupe de parc A connecté, et le Switch de la BUS de maintenance sur la position ON.

Sa carte de surveillance est alimentée par les 28Volts DC internes, ou bien par la BUS 101PP. Si le TR1 n'est pas opérationnel (le contact 5PU est ouvert), la carte du TR2 est alimentée par la BUS 403PP.

La sortie des 28Volts DC est connectée à la DC BUS2 à travers le contact 5PU2, et à la DC SERVICE BUS 6PP à travers le contact 1PN. Cette sortie peut aussi être connectée à la DC SERVICE BUS à travers le contact 1PX, seulement au sol avec le groupe de parc A connecté, et le Switch de la BUS de maintenance sur la position ON.

- **Le transformateur redresseur de l'APU (l'APU TR) :**

Il sert à convertir les 115Volts AC de la AC BUS2 en 28Volts DC.

Sa carte de surveillance est uniquement alimentée par les 28Volts DC internes.

La sortie des 28Volts DC est directement connectée à la barre BUS 909PP, et à travers le contact 7PU à la barre BUS 309PP, au démarreur de l'APU, à la batterie de l'APU pour son chargement (contact 5PB fermé), et à la barre BUS 709PP.

III.6.1. Les interfaces du transformateur redresseur :

Il existe plusieurs interfaces avec les transformateurs redresseurs.

Pour le TR1 et le TR2 on a :

- Les SDAC pour avertissement et indication sur ECAM.
- Les ECMU pour les contrôle des contacts 1PC1 et 1PC2 (pour le transfert automatique et la protection des court-circuits).
- Les CMC pour la réinitialisation du TR.

Pour l'APU TR :

- Les SDAC pour avertissement et indication sur l'ECAM
- CMC pour la réinitialisation du TR.

III.6.2. Fonctionnement des transformateurs redresseurs de l'A330:

Pour obtenir une source d'énergie à une tension nominale de 28VDC, deux circuits redresseurs fournissent la même tension redressée dans des conditions sans charge. Ces circuits sont reliés entre eux en parallèle et sont raccordés au secondaire des bobines d'un même transformateur triphasé.

Les deux avantages de ce type de transformateur redresseur pour le réseau 115V / 400Hz qui fournit l'énergie nécessaire sont les suivants:

- le taux de déformation est très faible, car les harmoniques sont presque inexistantes.
- Le facteur de puissance est proche de 1.

- **Les harmoniques :**

Les courants harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'un courant électrique périodique décomposé en série de Fourier. Les harmoniques ont une fréquence multiple de la fréquence fondamentale, généralement de 50 ou 60 Hertz, dans les réseaux électriques. Autrement dit, les harmoniques sont une description mathématique de la distorsion d'un signal a priori sinusoïdal. De même, les tensions harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'une tension électrique périodique décomposée en série Fourier.

Les courants harmoniques ont divers effets néfastes : augmentation des pertes, augmentation du bruit, interférences et couple vibratoire. Pour la bonne qualité de l'électricité, il est donc important de limiter leur présence

- **Le facteur de puissance :**

C'est une expression qui décrit les caractéristiques des signaux en entrée d'un appareil électrique utilisant du courant alternatif. Il est défini par le rapport entre la puissance active P (en watts) et la puissance apparente S (en voltampères). Il varie entre 0 et 1 et n'a pas d'unité.

➤ Chaque TR n'est opérationnel que si la barre BUS qui lui correspond est alimentée. Tous les paramètres fournis sont corrects, le contact du courant continu (PU) se ferme et connecte le courant à la barre BUS DC correspondante.

Pour le fonctionnement normal nous avons :

- TR1 et TR2 actifs.
- 1PC1 fermé et 1PC2 ouverts.

Fonctionnement anormal :

- TR1 et TR2 éteints mais pas à cause d'une surintensité.
- 1PC1 et 1PC2 fermés.

Sur l'APU TR, le contact 7PU fermé, permet de connecter le courant continu aux contacts 5KA et 5PB.

5KA est fermé si le bouton poussoir APU START est pressé.

5PB est fermé si la batterie APU doit être rechargée.

III.6.3. Composition :

Le transformateur redresseur comporte deux parties principales

- Un transformateur redresseur
- Une carte de surveillance

- **Transformateur:**

La tension triphasée filtrée est fournie à l'enroulement primaire (N1 tours) du transformateur. Cet enroulement est constitué de feuilles en aluminium installées sur un circuit magnétique. La bobine secondaire comprend deux groupes de trois enroulements: un groupe delta-connecté (N2 tours) et un groupe connecté en étoile (N3 tours).

- **Redresseurs triphasés:**

Chaque jambe de chaque redresseur a 4 diodes connectées en parallèle. Les courants sont divisés entre ces diodes. (12 phases de rectification).

- **La carte de surveillance :**

La carte de surveillance contient le module d'alimentation électrique, ainsi que les circuits de contrôle et de protection.

Le transformateur redresseur est protégé contre :

- La Surchauffe (du transformateur et du redresseur).
- La Surintensité.
- Les diodes ouvertes ou bien court-circuitées.

A chaque fois qu'un circuit de protection est déclenché, le contact de la sortie en courant continu s'ouvre et reste ouvert jusqu'à ce qu'une réinitialisation soit effectuée.

La réinitialisation peut être effectuée :

- Sur le MCDU via les CMC (Centralized Maintenance Computers).
- A partir du bouton de réinitialisation sur le boîtier du transformateur redresseur.

- **Carte INPUT FILTER (filtre d'entrée) :**

Le 200V / 400Hz tension triphasée fournit à la bobine primaire du transformateur de la puissance à travers un sélecteur de tension (Sur la carte filtre d'entrée) qui est utilisé pour ajuster la tension de sortie.

Le transformateur de courant (sur la carte filtre d'entrée) : donne l'image du courant primaire sur la phase A. Cette donnée est envoyée à la carte de surveillance et est utilisée pour trouver si une diode est court-circuitée ou non.

- **Carte SORTIE FILTRE (filtre de sortie) :**

Deux condensateurs électrolytiques 1000 μ F / 63V filtrent la tension de sortie. Un circuit de protection (diodes) limite la valeur maximale de la sortie tension + 28VDC. La vis de mise à la terre relie la diode à la masse mécanique.

- **Bleeder:**

La valeur de la tension de sortie est commandée par un purgeur (résistances) qui est commutée automatiquement lorsque la sortie courant atteint la valeur du seuil minimal ($I_o \leq 15A$).

Schéma électrique du Transformateur Redresseur de l'A330 :

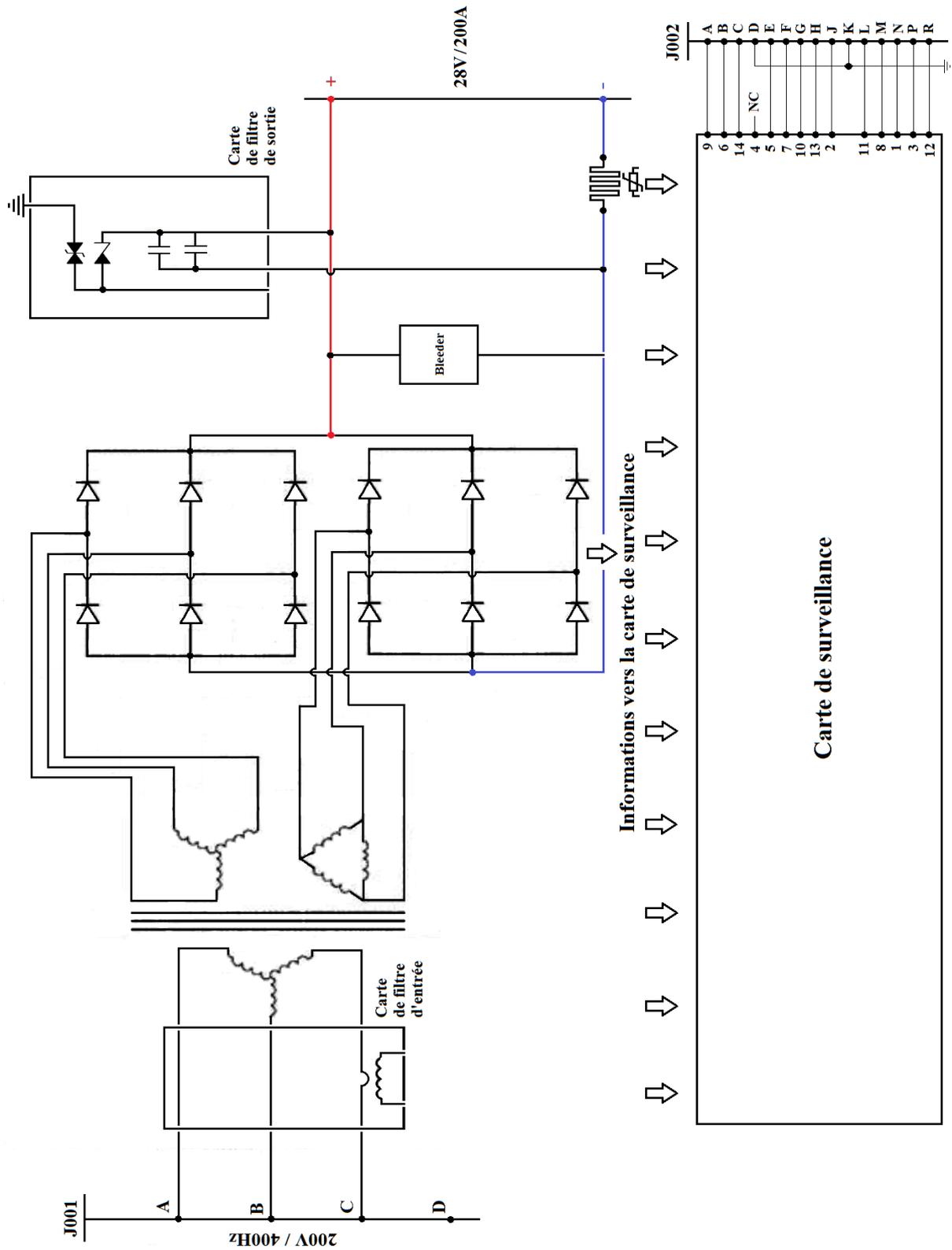


Figure III.6 : Schéma électrique du transformateur redresseur de l'A330

III.6.4. Caractéristiques mécaniques du TR :

- Longueur : 250.5mm (9.86in)
- Largeur : 214mm (8.42in)
- Hauteur : 165.5mm (6.51in)
- Poids maximum:7,4 kg (16.31lb)

Allure :

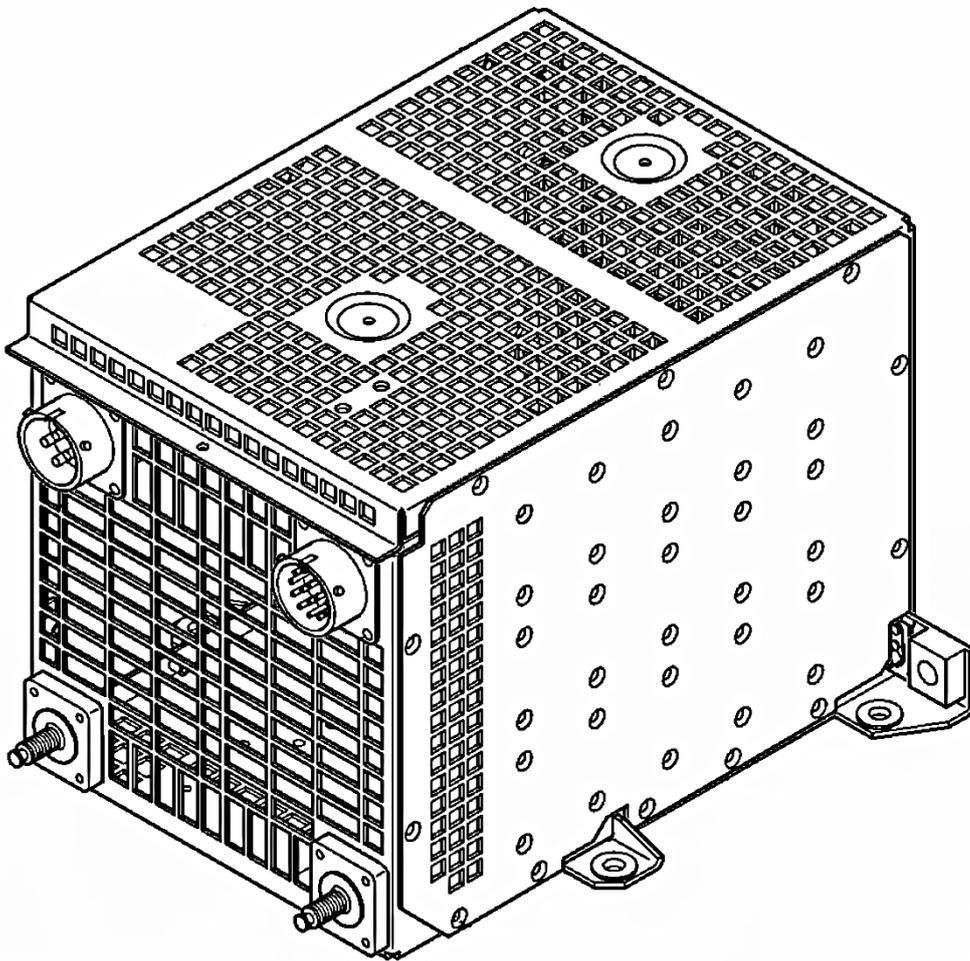


Figure III.7 : Allure du Transformateur Redresseur de l'A330-200

III.6.5. Caractéristiques électriques :

Alimentation d'entrée :

Tension : 115V (tension triphasée)

Fréquence : 400Hz

Consommation de courant maximale pour chaque phase :

- Sans charge : 1A
- Avec une charge de 100A : 11A
- Avec une charge de 200A : 20A

Puissance de sortie d'alimentation :

Tension maximale sans charge : +30.5VDC

Tension avec charge appliquée :

- Charge résistive de 100A : 28,4±0.1VDC (Sans ventilation)
- Charge résistive de 200A : 27,5±0.4VDC (Avec ventilation)

Tension d'ondulation maximale :

- Charge de 100A/200A : 2V crête à crête

Courant nominal : 100A

Surcharges (ventilation forcée) :

- 300A pendant 5 minutes maximum
- 500A pendant 30 secondes maximum
- 3500A pendant 1 seconde au maximum

Facteur de puissance : 0,93 avec $I \geq 50A$

Efficacité minimale : 87%

Les systèmes de protection :

La protection est accordée à l'unité par un module interne de contrôle qui ouvre un contacteur de sortie si l'une de ces conditions se produit:

- Le courant est maximal
- Le courant est minimal
- Une diode est court-circuitée

- Une diode est ouverte
- Le transformateur est trop chaud
- Le côté gauche équipé et / ou côté droit équipé sont trop chauds

III.6.6. Caractéristiques environnementales :

Conditions de l'installation:

- L'appareil doit être installé à la verticale, avec les connecteurs vers le bas.
- L'unité doit avoir une bonne circulation de l'air obtenu par le mouvement de l'air libre ou par aspiration forcée (24 grammes d'air / sec.).
- Pièce jointe: Quatre trous de 6.5mm de diamètre.
- Connexion: *2 connecteurs (J001 et J002)
* 2 bornes (1 négatif et 1 positif).

Emplacement sur avion :

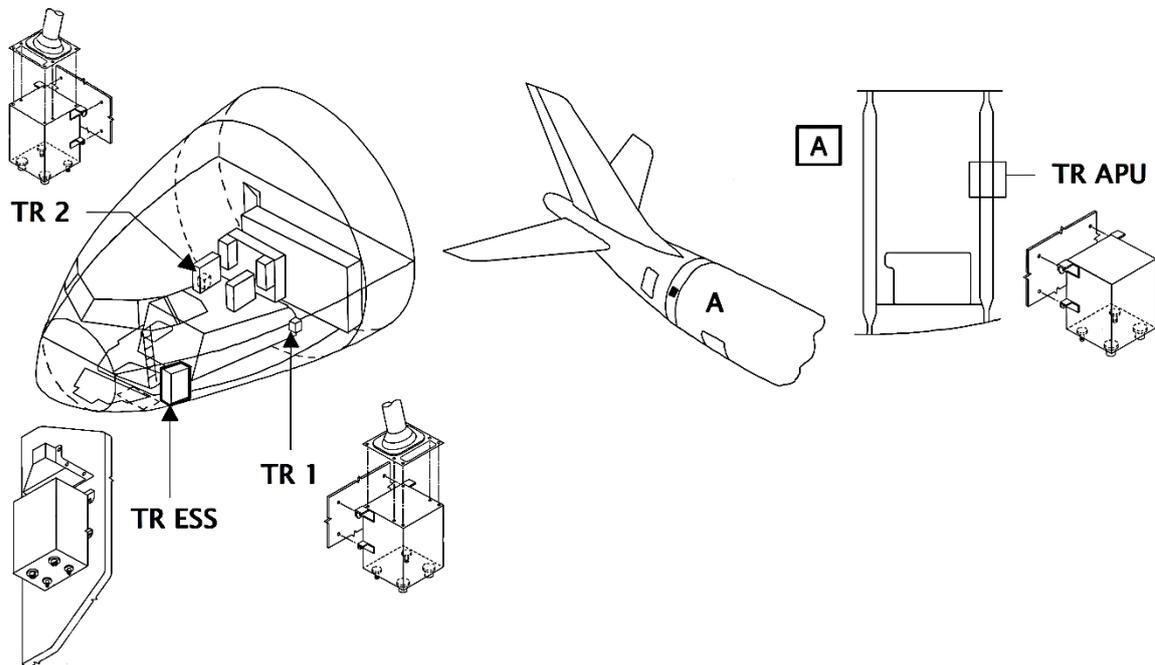


Figure III.8 : Emplacement des différents transformateurs redresseurs de l'A330

Conclusion :

Nous avons traité dans ce chapitre, la génération électrique de l'Airbus A330, ses différents types de fonctionnements, ses interfaces et ses systèmes de contrôle et de gestion.

Nous avons également traité la composition du transformateur redresseur, et le fonctionnement des quatre TR de l'avion.

Dans le prochain chapitre nous allons expliquer comment on a procédé à la conception d'un banc de charge qui servira aux tests et à la maintenance des transformateurs redresseurs de l'Airbus A330.

CHAPITRE IV : Technologie de construction du banc d'essai du TR A330

Pour tester les équipements de n'importe quel avion, il est nécessaire de concevoir à l'équipement un environnement identique à celui à bord de l'avion, car il n'est pas possible de tester certains éléments de ce dernier à bord.

Ceci dit pour la conception d'un banc de charge du transformateur redresseur de l'A330, un support et une carcasse de boîtier de commande ont été conçus au niveau des ateliers de structure et de mécanique, le câblage du boîtier et des résistances de puissance au niveau de l'atelier d'électricité statique, et ce en suivant les indications du CMM de l'équipement.

Le CMM est un document officiel qui détaille la manière dont les tâches hors d'entretien d'aéronef sur le composant spécifié doivent être accomplies. Les tâches de maintenance contenues dans ces manuels font comprendre des procédures pour la restauration d'un composant structurel à l'état de servitude. Les procédures de retouche sont souvent fournies dans tout CMM approprié.

IV.1. But du banc de charge:

Un banc d'essai est essentiel au test d'un équipement car il est impossible de tester certaines fonctions spécifiques de ce dernier à bord de l'avion et de manière durable.

En phase de maintenance, un banc de charge est un outil permettant au technicien de maintenance de réparer le produit défectueux (le transformateur redresseur dans notre cas). Le banc mesure les performances du produit, permet de localiser l'origine de la panne et dans certains cas propose le remplacement des pièces défectueuses, de la carte électronique au composant selon le niveau de maintenance visé.

Le banc de charge qui a été réalisé pour le transformateur redresseur de l'A330 permet un énorme gain économique à Air Algérie, car au lieu de déplacer cet équipement à l'étranger, sa maintenance sera effectuée ici en Algérie.

Pour réaliser ce banc de charge, nous avons dû suivre les instructions et les schémas donnés par le constructeur (Airbus) sur le CMM du transformateur redresseur, car des normes et les règles du constructeur doivent être respectées, et ce pour la conformité, l'homologation et l'approbation de l'équipement.

IV.2. Constructions mécanique et électrique :

Pour la réalisation du banc de charge, un support de résistances de puissance a été confectionné au niveau de l'atelier structure d'Air Algérie, et ce en utilisant : des plaques d'aluminium de 3 et 2,5mm d'épaisseur coupées en bandelette, une plaque de bakélite de 10mm d'épaisseur, des bandelettes de cuivre de 2mm d'épaisseur pour le câblage des résistances en parallèle, et une tôle servant de cache.

Pour pouvoir tester le transformateur redresseur, il est nécessaire de le mettre dans des conditions similaires à celles que l'on retrouve sur avion, pour ce, un support suivant les instructions du CMM a été confectionné au niveau de l'atelier de mécanique générale, en utilisant 2 plaque en aluminium de 10mm, et deux contrepoids pour que le support résiste aux vibrations. Nous avons aussi réalisé un support de ventilateur, qu'on a fixé au-dessus de l'emplacement du TR, et ce pour placer un extracteur et éviter que l'équipement surchauffe.

Nous avons également suivi les instructions du CMM pour confectionner un boîtier de commande, composé d'un boîtier en aluminium confectionné au niveau de l'atelier structure, et peint au niveau de l'atelier de traitement des surfaces. Pour le câblage de ce dernier, nous avons utilisé trois résistances de 2.7k Ω , 2 Switch, un bouton poussoir, 3 LED, un commutateur, une résistance variable de 12 Ω (100Watts), des fiches bananes pour placer un voltmètre et un ampèremètre, et une prise mâle.



Figure IV.1 : Prise mâle utilisée

Le câblage du banc de charge a également été effectué au niveau de l'atelier d'électricité statique, pour le câbler, il nous a fallu : 13 résistances de puissance, 3 relais supportant un courant allant jusqu'à 150A, un voltmètre, un ampèremètre, 3 Switch, 3 voyants, des câbles d'alimentation et des câbles de puissance.

Le banc de charge que nous avons confectionné se compose de 3 étages de résistances de puissance câblées en parallèle, nous avons choisi ce câblage, car c'est la meilleure façon pour obtenir un maximum de courant (allant jusqu'à 237A).

IV.2.1. Schémas mécaniques :

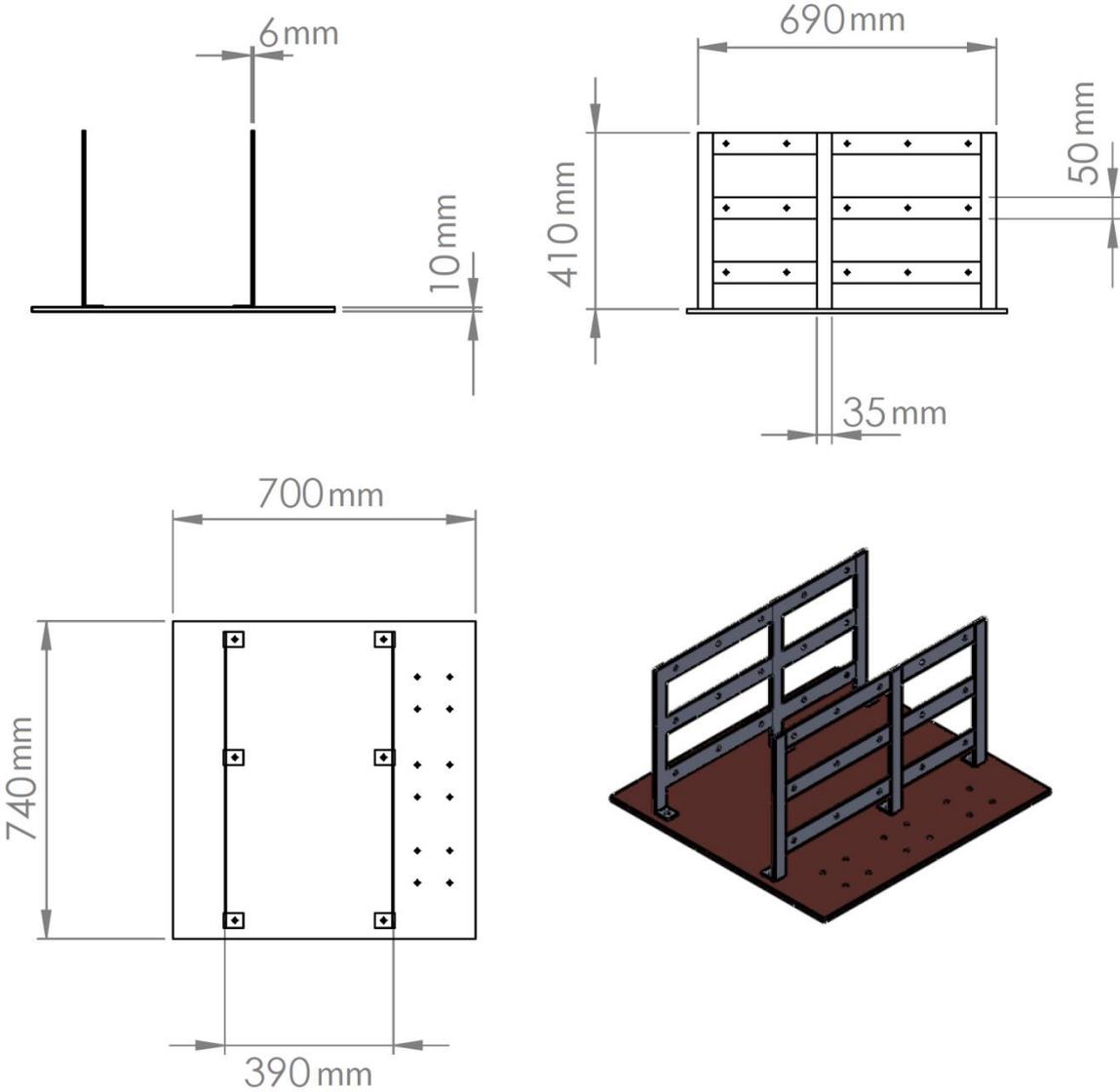


Figure IV.2: Schéma du support des résistances de puissance

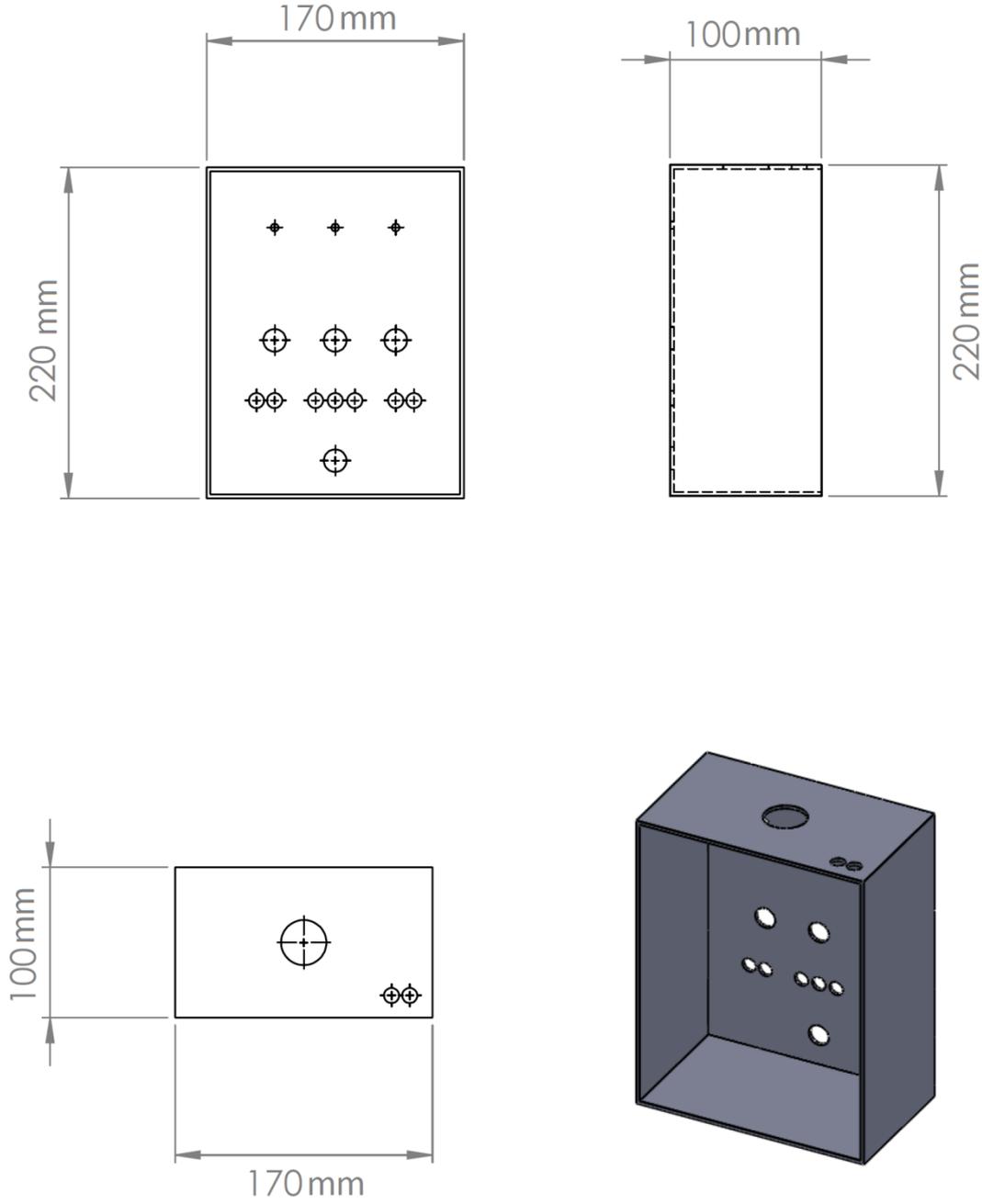


Figure IV.3: Schéma mécanique du boîtier de commande

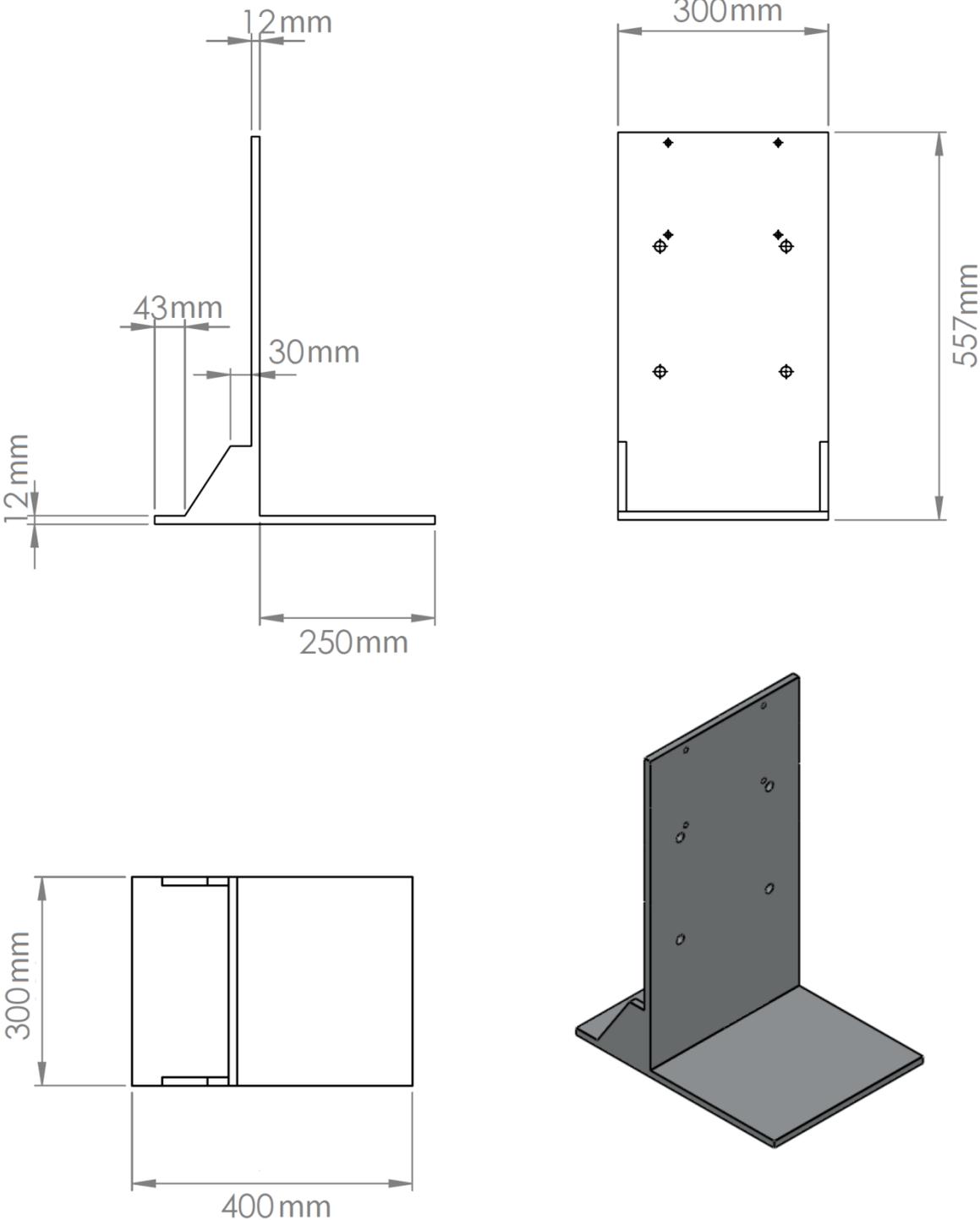


Figure IV.4: Schéma du support transformateur redresseur

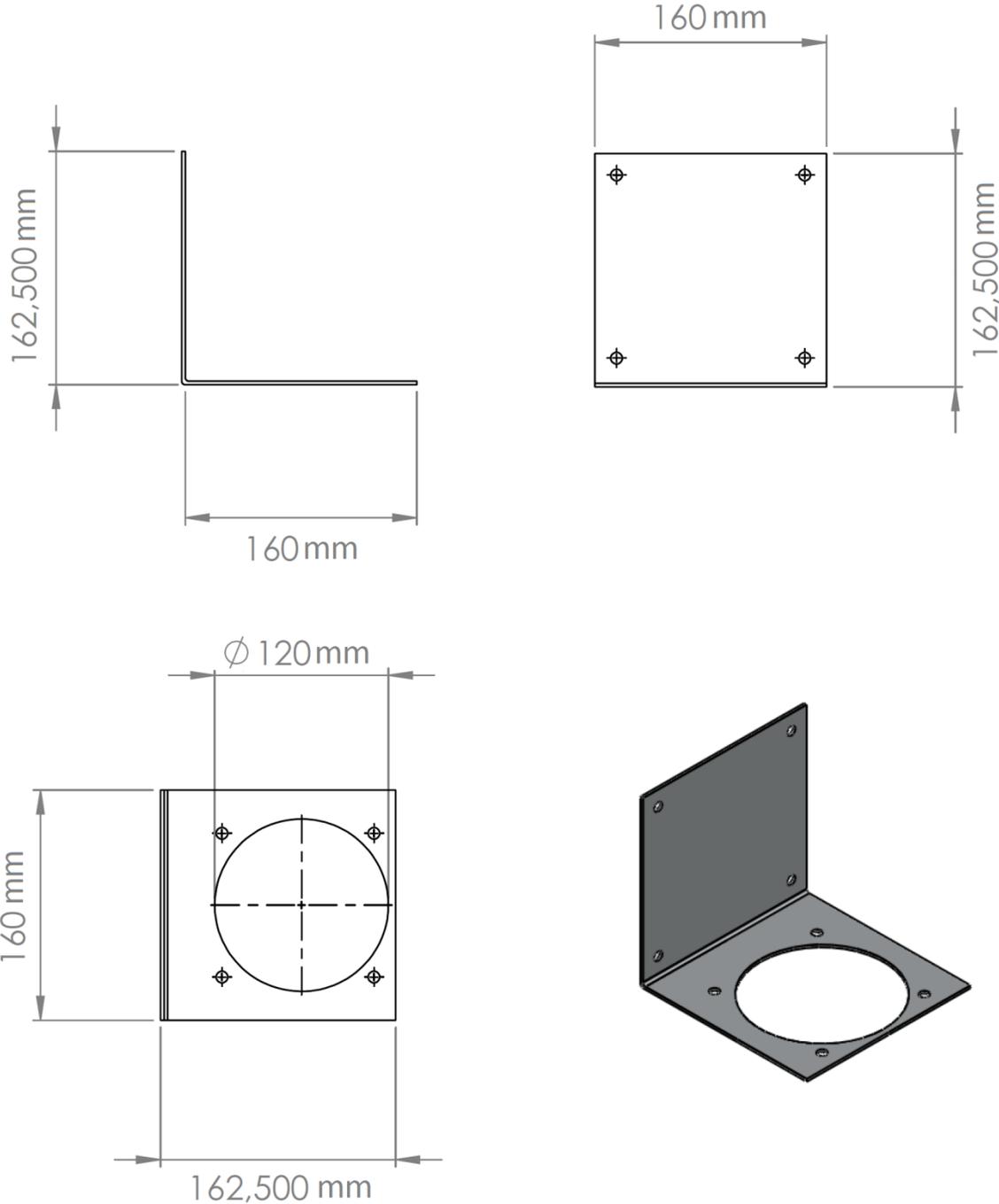


Figure IV.5: Schéma mécanique du support ventilateur

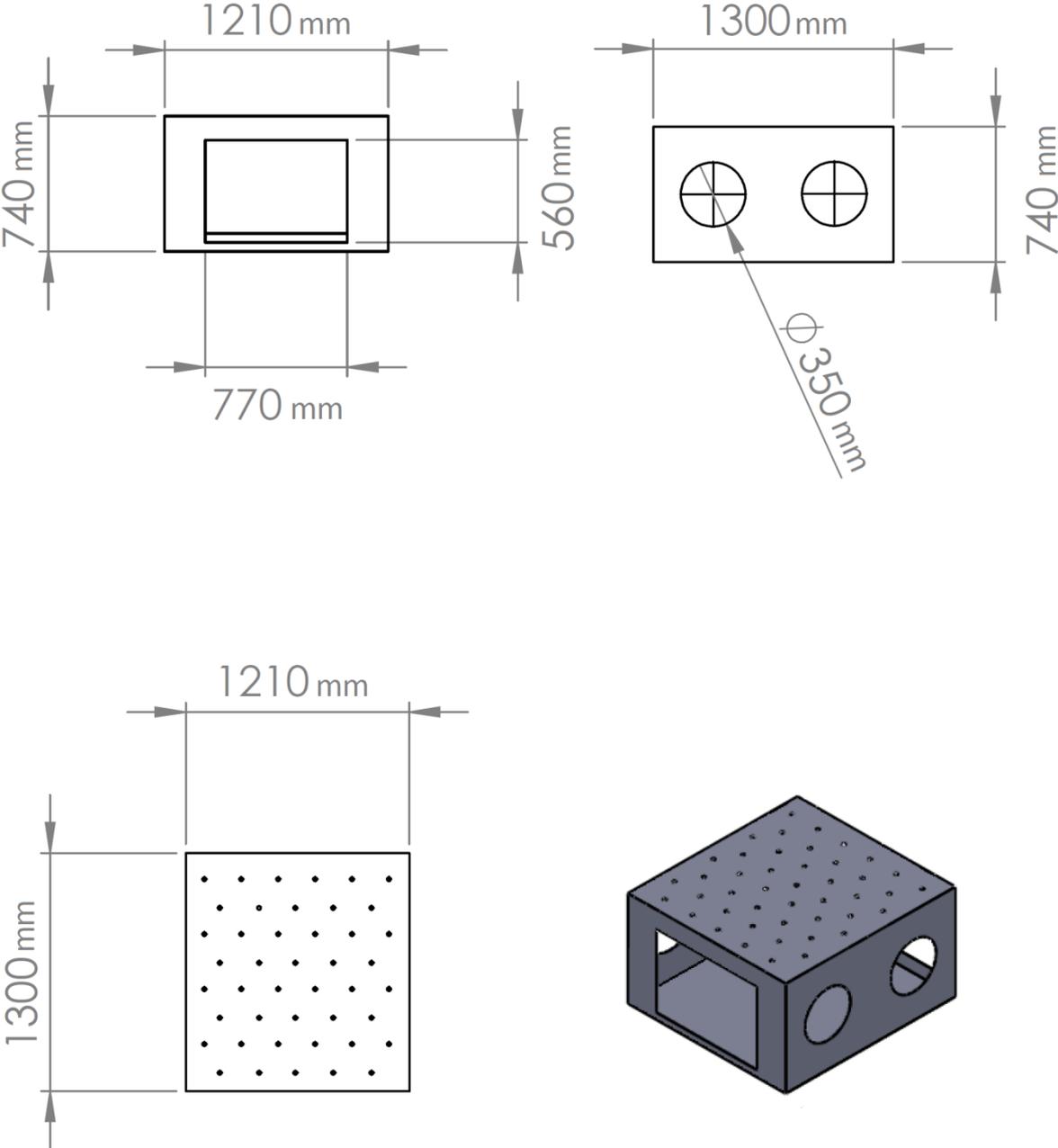


Figure IV.6: Schéma mécanique du cache pour le banc de charge

IV.2.2. Schémas électrique :

Explication du schéma électrique du banc de charge :

Le schéma électrique présenté dans la figure IV.7 est celui du banc de charge du transformateur redresseur qui est constitué de :

- **Un circuit de commande** : qui sert à alimenter le circuit de puissance comme suit :
La bobine X1 X2 va être excitée par un courant continu venant du transformateur redresseur et cela en fermant le Switch S1, ce qui entrainera les liaisons suivantes : A2 => A1, B2 => B1, C2 => C1 du relais 1. Ces liaisons vont permettre d'alimenter toutes les résistances de puissance mises en parallèle de l'étage 1 ainsi qu'allumer la lampe L1 qui indique le fonctionnement de l'étage 1. Notez que les étages 2 et 3 fonctionnent de la même façon.

- **Un circuit de puissance** : constitué de 3 étages de résistances de puissance qui servent de charges pour le transformateur redresseur. Les charges sont distribuées de la manière suivante :

Etage 1 : 73 A (4 résistances de 5Ω et une résistance de 0.56Ω).

Etage 2 : 127 A (2 résistances de 5Ω , 2 résistances de 1.1Ω et une résistance de 0.45Ω).

Etage 3 : 37 A (2 résistances de 5Ω et une résistance de 1.1Ω).

On peut également avoir des charges de :

- **110 A** en fermant les Switch S1 et S3.
- **164 A** en fermant les Switch S2 et S3.
- **200 A** en fermant les Switchs S1 et S2.
- **237 A (charge maximale du banc de charge)** en fermant les Switch S1, S2 et S3.

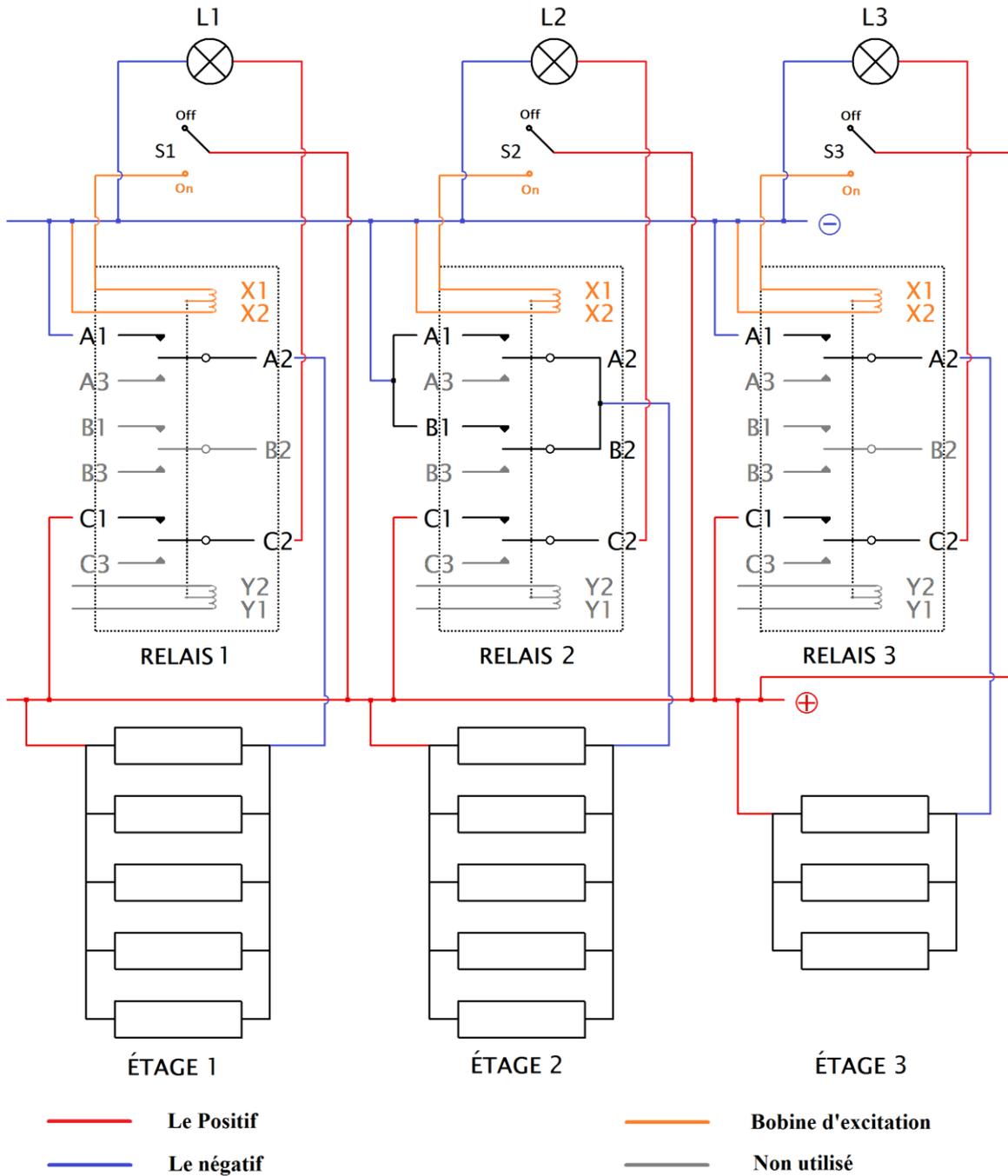


Figure IV.7: Schéma électrique du banc de charge (circuit de commande + circuit de puissance)

Schéma électrique du boîtier de commande : (d'après le CMM)

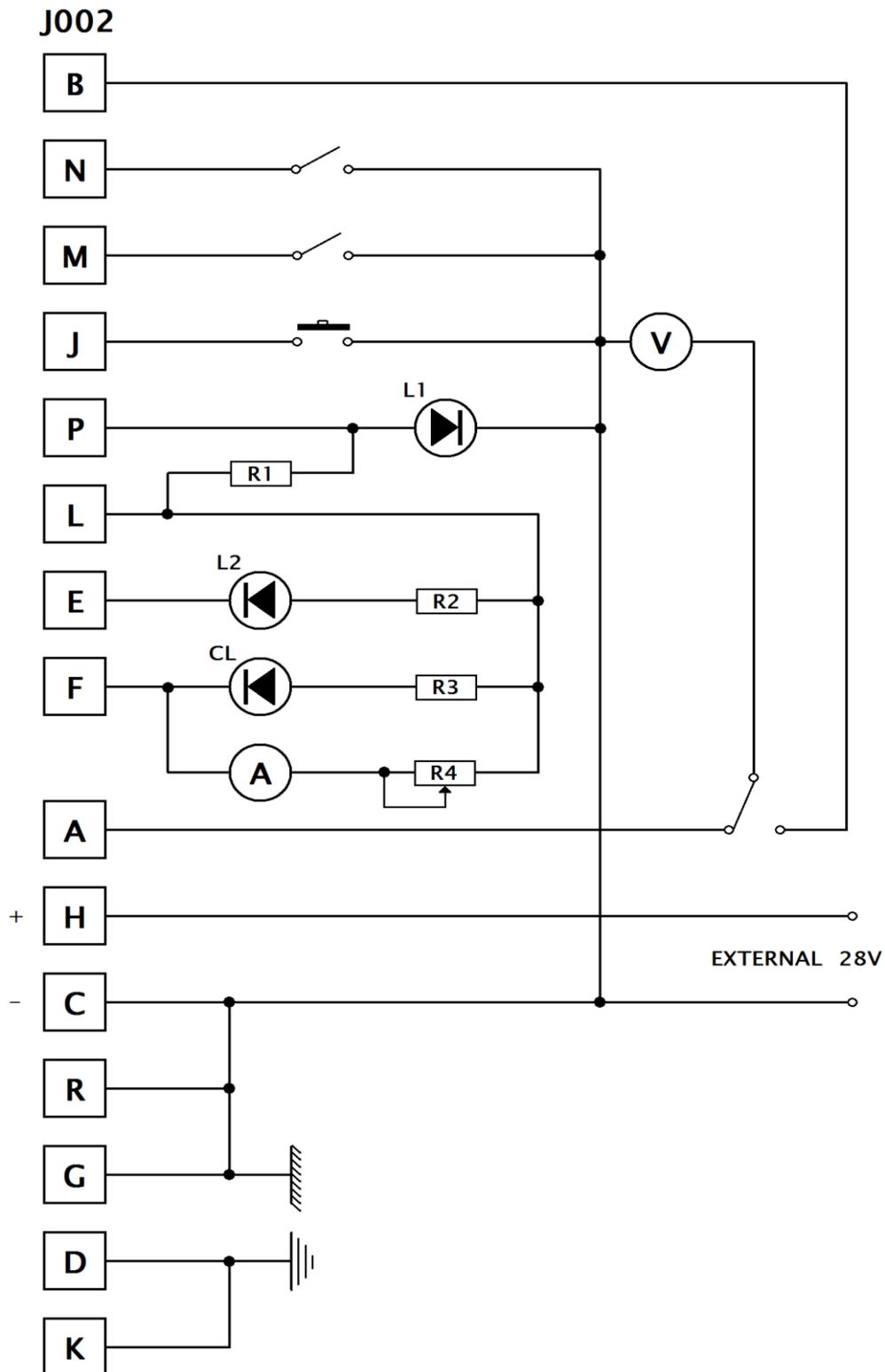


Figure IV.8: Schéma électrique du boîtier de commande

IV.3. Le test du banc de charge :

Pour s'assurer du bon fonctionnement du banc de charge, on doit affecter à ce dernier une tension exacte de 28VDC, et ce en le connectant à une alimentation stabilisée d'un ampérage de 400A, afin d'éviter l'utilisation d'un transformateur redresseur en bon état.

IV.4. Test de l'équipement :

- **Les étapes de la maintenance d'un équipement (le TR dans notre cas):**

L'accessoire est déposé au niveau du magasin soit à partir du line (maintenance non-programmée, curative) ou bien des travaux planifiés (maintenance programmée, préventive).

Une fiche jaune est établie pour l'accessoire notant qu'il est inutilisable (unserviceable), l'accessoire est envoyé à l'atelier concerné (électricité statique dans d notre cas), passe par le banc d'essai pour les tests, si l'équipement répond aux tests, cela veut dire qu'il est en bon état, ce qui lui permet d'obtenir un certificat de conformité

S'il ne répond pas aux tests, le technicien doit effectuer une recherche de pannes suivant le CMM de l'équipement, après l'avoir trouvée, la réparation s'effectue en changeant la pièce défectueuse (un fusible par exemple), l'accessoire repasse par le test de bon fonctionnement, s'il répond il obtiendra par conséquent un certificat de conformité.

Une fois réparé, l'accessoire est redéposé au niveau du magasin.

Un test a pour but d'assurer le bon fonctionnement des différents éléments d'un équipement. Pour tester le transformateur redresseur il faut d'abord préparer les outils nécessaires aux tests et effectuer le test préliminaire, ensuite monter l'installation d'essai (figure IV.10) et suivre les étapes des tests d'après le manuel de maintenance des composants (CMM) du transformateur redresseur de l'A330-200.

Le tableau suivant représente les outils utilisés pour les essais du transformateur redresseur :

Référence	Quantité	La désignation
Non spécifique	1	Tournevis PHILIPS interchangeables
Non spécifique	1	Alimentation triphasée 115V/400Hz, 60kVA
Non spécifique	1	Alimentation ajustable 0/30 VDC, 2A
Non spécifique	1	Oscilloscope
Non spécifique	3	Multimètres numériques RMS 200V, 4 ½
Non spécifique	1	Ohmmètre
Non spécifique	1	Milli ohmmètre
Non spécifique	1	Ampèremètre
Non spécifique	1	Clamp ampèremètre
Non spécifique	1	20A / 100 mV shunt
Non spécifique	1	500A/100mV shunt
Non spécifique	3	Des voyants lumineux 28V / 30mA (ou LED)
Non spécifique	1	Résistance variable 12 ohms / 100W
Non spécifique	1	Unité de charge résistive commutable 0-300A
Non spécifique	1	Unité de charge 500A
Non spécifique	1	Interrupteur triphasé
Spécifique	1	Support TR
V113A40822	2	Fan (fabriqué par F3078 (SFMI))

Tableau IV.1: Outils pour les tests du transformateur redresseur

IV.4.1. Test de la résistance d'isolement (Test préliminaire) :

Chaque fil électrique dans le transformateur redresseur est soigneusement recouvert d'un certain type d'isolation électrique : gaine pour les câbles, vernis pour les bobinages. Quand la qualité de ces isolements s'amointrit, des courants de fuite peuvent circuler d'un conducteur à l'autre et, selon l'importance des défauts d'isolement (le pire défaut étant le court-circuit), provoquer des dégâts plus ou moins graves. Pour prévenir et pouvoir se prémunir des risques liés à un isolement insuffisant ou à une dégradation du niveau de l'isolement, le test d'isolation doit se faire et doit être correct.

Ce test est effectué en mesurant à l'aide d'un Ohmmètre la résistance entre les axes A, B et C du connecteur J001 et la masse du châssis après avoir enlevé la vis de terre :

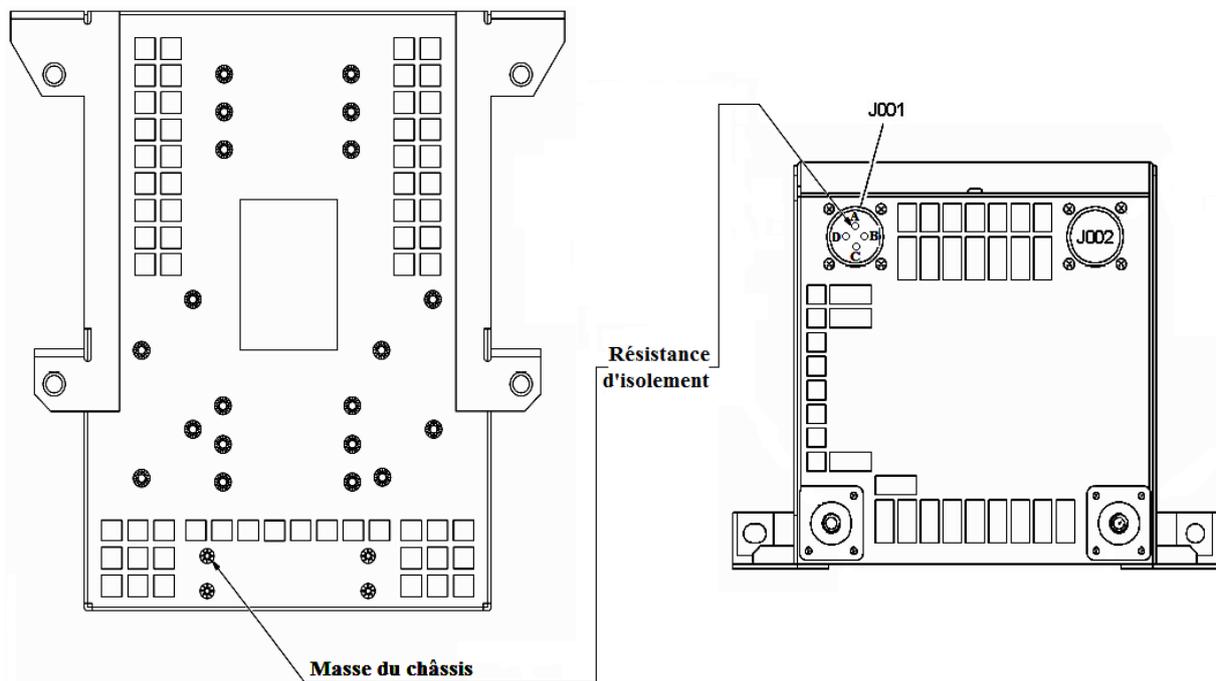


Figure IV.9 : Schéma explicatif du test d'isolement

La résistance doit être supérieure ou égale à 100Mohm à 500Vcc.

IV.4.2. Principe de mesure (Installation d'essai) :

La figure IV.10 représente le branchement du transformateur redresseur avec les différentes parties du banc d'essai :

- Monter le transformateur redresseur sur le support TR,
- Connecter le transformateur redresseur à l'alimentation triphasé (la prise J001),
- Connecter le transformateur redresseur au boîtier de commande (la prise J002),
- Connecter le transformateur redresseur au banc de charge (les sorties positive et négative),
- Connecter l'ampèremètre et le voltmètre (V1) ainsi que la résistance variable au boîtier de commande.

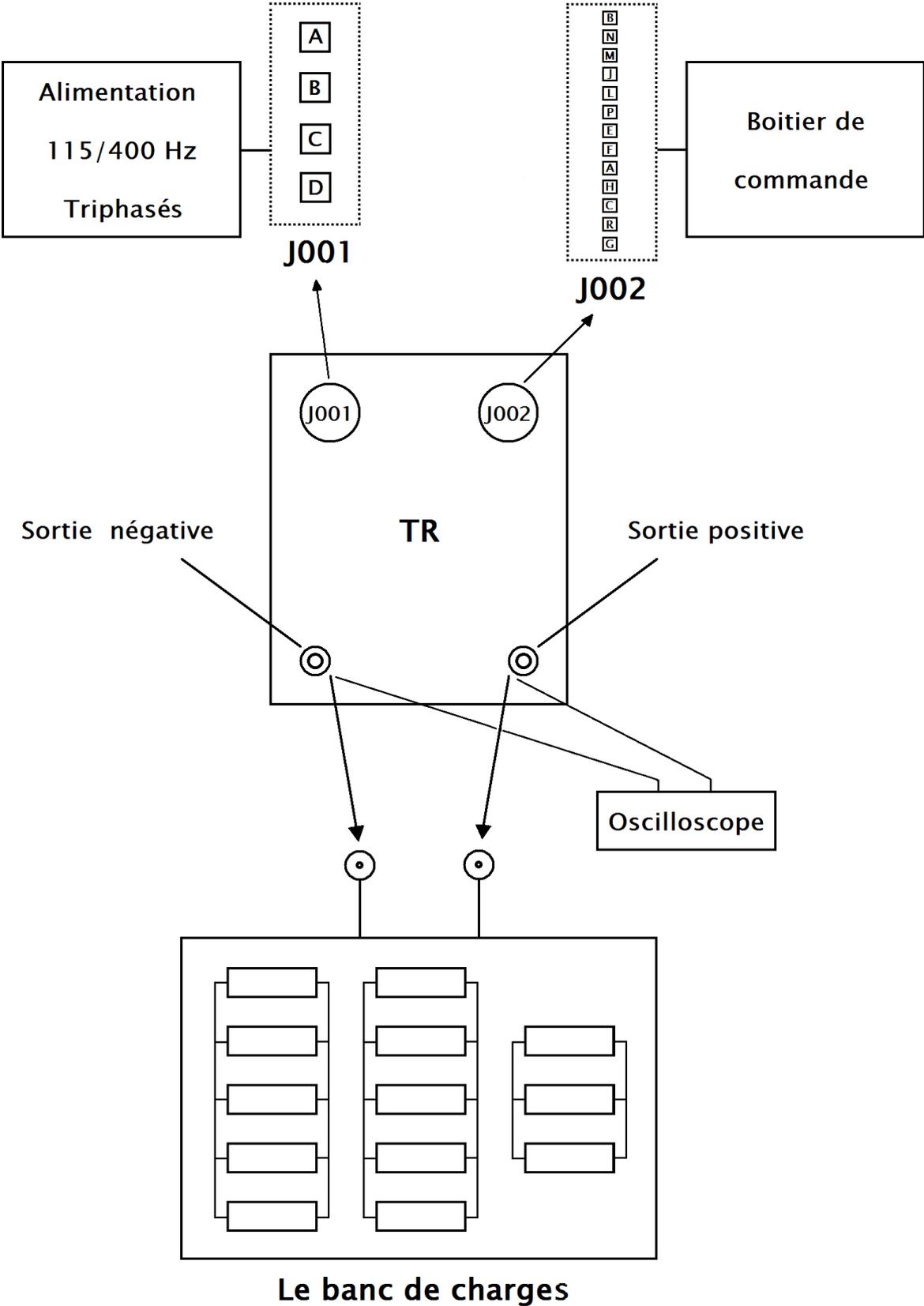


Figure IV.10 : Schéma d'installation d'essai

IV.4.3. Essai sans charge :

(A) Appliquer les 115V / 400Hz.

(B) Régler la tension d'alimentation triphasé à $115 \pm 0.5V / 400 \pm 1Hz$.

(C) Utilisez la pince ampérométrique et assurer que le courant dans chaque phase est inférieure à 1A.

(D) Assurer que la tension de sortie en A lue sur le voltmètre (V1) est inférieure à ou égale à 30.7V.

(E) Assurer l'obtention de cette configuration après un délai de 5 secondes :

Lumière	Condition
Défaut	ON
L 1	OFF
L 2	ON
L 3	OFF

Tableau IV.2 : La configuration du test « sans charge »

Appuyer sur le bouton S001 (qui se retrouve sur la carte surveillance du transformateur redresseur) et assurer que la lumière, DÉFAUT est à nouveau : ON après un délai de 5 secondes.

(F) déconnecter les 115V / 400Hz.

IV.4.4. Essai en charge :

Pour effectuer ce test, le test précédent (sans charge) **doit se faire** et doit être **correct**, sans oublier que les ventilateurs doivent fonctionner pendant tout le long du test :

(A) appliquer les 115V / 400Hz.

(B) Connecter une charge de 20A.

(C) ajuster la tension d'alimentation triphasé à $115 \pm 0.5V / 400 \pm 1Hz$.

(D) Appuyer sur le bouton S001.

(E) Assurer l'obtention de cette configuration:

Lumière	Condition
Défaut	OFF
L 1	OFF
L 2	OFF
L 3	ON

Tableau IV.3 : La configuration du test « en charge »

(F) Déconnecter les 115 / 400Hz.

(G) Déconnecter la charge.

(H) Faire à nouveau les étapes ci-dessus avec ces charges:

- $I_o = 50A$.

- $I_o = 100A$.

Après l'étape (e) :

- Assurer que $V_o = 28V + 0.3V / -0.1V$ et la tension d'ondulation est inférieure à 2VDC.

- Assurer que le courant dans chaque phase est inférieur à 11A.

- $I_o = 200A$.

Après l'étape (e):

- Assurer que $V_o = 27,3 \pm 0,4V$ et la tension d'ondulation est inférieure à 2VDC.

- Assurer que le courant dans chaque phase est inférieur à 19A.

IV.4.5. Les pannes probables du TR (si le test est incorrect) :

Echec	Composants défectueux possible
<p>Test de la résistance d'isolement :</p> <p>- Pas d'isolation dans les phases du 115V / 400Hz.</p>	<p>- La carte de filtre d'entrée, - Le transformateur.</p>
<p>Essai sans charge :</p> <p>- Tension de sortie (V1) incorrecte. - Configuration incorrecte pour les lumières L1, L2, DÉFAUT et CL</p>	<p>- La carte de filtre d'entrée, -Le transformateur, - Les modules de diodes (côté droit et côté gauche), - Shunt (connexion négative), - La carte de surveillance, - Connexions du connecteur de sortie (J002).</p>
<p>Essai en charge :</p> <p>- Configuration incorrecte pour les lumières L1, L2, DÉFAUT et CL.</p>	<p>-Connexions entre le transformateur et les modules de diodes (côté droit et côté gauche), - La carte de surveillance, - Shunt (connexion négative), - Fils.</p>

Tableau IV.4 : Les pannes probables du TR

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le banc de charge du transformateur redresseur réalisé au niveau des ateliers d'électricité statique (câblage électrique) et des ateliers structure et mécanique général (la construction mécanique).

Nous avons également présenté quelques tests du transformateur redresseur (test préliminaire, test sans charge et test en charge). Notons que la suite des tests se trouve sur le CMM de l'équipement.

Ce banc de charge va désormais essentiellement permettre de localiser l'origine de la panne, mesurer les performances du transformateur redresseur de l'A330-200 et d'effectuer un test de bon fonctionnement complet pour ce dernier.

Cette réalisation aura un énorme impact économique pour la compagnie aérienne Air Algérie qui sera traité dans le chapitre qui va suivre.

CHAPITRE V : Etude technico-économique

Le but de la réalisation du banc de charges du transformateur redresseur de l'A330 pour Air Algérie, est de permettre à la compagnie de faire des économies lors de la maintenance effectuée sur le module en question, car sans banc de charges, le TR est envoyé à l'étranger(France), pour les tests et la réparation ce qui entraîne des dépenses élevées en devises étrangères, il faut bien sûr ajouter à cela des coûts et des délais de transport.

L'objectif de ce chapitre est de calculer et de comparer le coût de la construction du banc de charge avec le coût de la maintenance du transformateur redresseur à l'étranger.

V.1. Coût des composants et matériaux utilisés pour la conception du banc de charge :

Dans cette section, nous allons essayer d'estimer le prix de revient du banc de charges lors de sa réalisation au niveau des ateliers de la base de maintenance d'Air Algérie.

Il y a lieu de noter que certains éléments utilisés pour cette réalisation ont fait l'objet de récupération au niveau de l'atelier de maintenance.

Tout d'abord nous allons présenter la liste des éléments constitutifs de notre banc de charge et leurs prix :

Tôles en aluminium :

Epaisseur	Prix d'achat de la tôle (2500X1250mm)	Quantité de tôle utilisée	Coût de tôle utilisée
25/10 (2,5mm)	65 141,65 DZD	155936mm²	3 250,5 DZD
30/10 (3mm)	71 842,25 DZD	7317100mm²	168 216,61 DZD
12 mm	27 529,88 DZD	284870mm²	2 509,57 DZD
Coût totale des tôles utilisées		173 976,68 DZD	

Tableau V.1 : Coût des tôles en aluminium

Des cornières carrées :

- Longueur des cornières carrées utilisées : **12460mm**
- Coût des cornières carrées utilisées : **11 500 DZD**

Une plaque en bakélite :

- Quantité de la bakélite utilisée : **518000mm²**
- Coût de la bakélite utilisée : **16 000 DZD**

Des bandelettes en cuivre : récupérées au niveau de l'atelier structure

13 résistances de puissance : récupérées à partir d'un ancien banc de charges

Un ventilateur extracteur pour le TR : **2 600 DZD**

Des vis, des écrous et des tiges filetées : **2 000 DZD**

Des câbles des cosses et des pins : récupérés au niveau de l'atelier et du vieux magasin.

Des Switch, des LED, des fiches bananes, des voyants et des relais : récupérés à partir d'anciens bancs d'essai.

Un grand ventilateur : récupéré à partir d'un ancien banc d'essai

Un boîtier d'alimentation : récupéré au niveau de l'atelier électricité statique

Il faut ajouter à cela les heures de main d'œuvre ainsi que la consommation d'énergie.

Coût total du banc de charge :

Matériels	Coût (DZD)	Coût (EUR)
Tôles en aluminium	173 976,68	1 418,5
Cornières carrées	11 500	93,76
Plaque en bakélite	16 000	130,45
Ventilateur extracteur	2 600	21,2
Vis, écrous et tiges filetées	2 000	16,3
Banc de charge	206 076,68	1 680,5

Tableau V.2 : Coût total du banc de charge

V.2. Coût de la maintenance du TR à l'étranger :

En cas de besoin de transformateurs redresseurs, la compagnie est parfois obligée d'en acheter de chez Airbus, et cela coûte dans les environs de **16 020 USD** soit : **14 233 EUR** et **1 755 000 DZD**.

Pour l'expédition à l'étranger, le coût de la maintenance est d'environ 20% du prix d'un TR neuf, soit **3 204 USD (2 846,5 EUR soit 351 000 DZD)** et ce, sans compter le transport, les frais de douane et le temps d'aller-retour, ce qui constitue beaucoup de pertes pour la compagnie.

- **Calcul du rapport économique :**

Le transformateur redresseur est envoyé en France pour la maintenance en moyenne de 3 fois par an, ces réparations coûtent à peu près : **8 539,5 EUR (1 047 837 DZD)**.

Le coût de la conception du banc de charge étant de : **1 680,5 EUR (206 076,68 DZD)**.

Le pourcentage du coût du banc de charge par rapport au coût de la maintenance à l'étranger en une année est finalement de : **19,7 %**



Single Part Inquiry

PNR MER PRI ACN

Part Interchangeability Data provided through AirbusSpares or Airbus SPEC 2000 messages do not constitute authority to install.
In all cases aircraft maintenance records must contain installation certification issued in accordance with the national regulations by the user/Installer before the aircraft may be flown.

- The following parts are unknown to F6198: FP3062:F8769, SP3062C:F8769, SP3062A:F8769
- The following parts are unknown to FB9M2: FP3062:F8769, SP3062C:F8769, SP3062A:F8769
- The following parts are unknown to H7803: FP3062:F8769, SP3062C:F8769, SP3062A:F8769
- The following parts are unknown to R1120: FP3062:F8769, SP3062C:F8769, SP3062A:F8769

ASP	MER	KWD	TR	SPC	INC	SEL	MANUFACTURER	LOC	ASQ	UNIT	LINE	ICR	LTH	SEQ	MSQ	REN	Action
SP3062	F8769			2		AIRBUS	D4296	HAM	1	EA		USD	76	1	1		
FP3062	F8769	XFMR		2	2	AIRBUS	D4296	CPH	0	EA	16,412.88	USD		1	1		
SP3062A	F8769			2	2	AIRBUS	D4296			EA	16,020.00	USD	40	1	1		
SP3062C	F8769			2	2	AIRBUS	D4296			EA	15,840.00	USD	70	1	1		

Airbus is a leading aircraft manufacturer with the most modern and comprehensive product line. | Legal notice
Airbus S.A.S. 2012. All rights reserved

Figure V.1 : Le prix du transformateur redresseur de l'A330

Conclusion :

L'étude technico-économique nous a permis de prouver la rentabilité de notre projet, car la conception du banc de charge du transformateur redresseur de l'A330-200 représente un très grand gain économique pour la compagnie Air Algérie.

Ce banc d'essai peut également tester d'autres équipements des circuits électriques de l'Airbus A330-200, du Boeing 737-800 et de l'ATR, car ce dernier étant universel peut fournir des charges très élevées.

CONCLUSION GENERALE

Le passage en revue de l'étude théorique des transformateurs et des redresseurs en général, la génération électrique de l'A330-200, et la technique de conception d'un banc de charges nous a permis de construire un banc de charges pour le transformateur redresseur de l'A330-200 au niveau de l'atelier électricité statique d'Air Algérie.

Cette construction s'est étalée sur plusieurs étapes, à savoir :

- Conception d'un support de boîtier de commande
- Câblage du boîtier de commande
- Conception d'un support pour le TR A330 et pour son extracteur
- Conception d'une extension de charges au banc de charges du transformateur redresseur du Fokker
- Câblage de la commande du banc de charges et de son circuit de puissance
- Un cache pour fixer des ventilateurs.

Dans le secteur aéronautique, la maintenance représente à ce jour la tâche la plus coûteuse dans le cycle de vie d'un aéronef. L'objectif de notre projet est de permettre à Air Algérie de réduire sa dépendance à la maintenance effectuée à l'étranger, ce qui est très important pour la compagnie du point de vue technique mais surtout économique. Suite aux tests effectués au niveau de la base de maintenances, nous considérons que cet objectif a été atteint.

La réalisation d'un tel projet, nous a permis d'apprendre et de toucher du doigt une partie des divers aspects de la maintenance des aéronefs. Outre l'acquis technique, ce travail nous a permis de prendre pleinement conscience de nos futures obligations, et malgré les obstacles que nous avons rencontrés, nous avons appris à accepter les compromis et à relativiser les problèmes.

Références bibliographiques:

- [1] A. IVANOV-SMOLENSKI : Machines électriques. Volume 1, Moscou. 1980.
- [2] A.FOUILLE : Electrotechnique à l'usage des ingénieurs. Tome 1, France. Octobre 1946.
- [3] G.P. MCCOUCH et P.K. MCELROY. Rectifier, transformer and Filter design. Massachussets, USA. Novembre 1964.
- [4] Luc Lasne. Electronique de puissance. 2^e édition, Paris 2011
- [5] AMARI Mansour : Cours d'électrotechnique. Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul. Janvier 2014.
- [6] Denis Schneider : Electrotechnique triphasé chapitre 11. 2007
- [7] O.Langrois, E.Foch, X.Roboam, H.Piquet : De l'avion plus électrique à l'avion tout électrique : état de l'art et prospective sur les réseaux de bord. Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes. Volume 4, 2005.
- [8] Franck Barrel : Analyse et application des systèmes électriques embarqués. Application aux réseaux de bord d'avion. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble. Juillet 2005.
- [9] YAHIOU Abdelghani : Contribution à l'étude et à l'analyse du régime transitoire dans les transformateurs de puissance : Cas du courant d'appel. Mémoire de Magister. UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF. Juin 2012.
- [10] BOUREZAK Fayçal et OUSSAA Djamila : Etude de la génération électrique de l'avion Airbus A330-200. Mémoire de DEUA en aéronautique. Université SAAD DAHLEB – BLIDA. Juin 2007
- [11] ADDA Takfarinas et BENAOUA Samir : Etude et tests d'un convertisseur statique dans la génération électrique d'un Boeing 737-800 NG. Mémoire de Master en Avionique. Université SAAD DAHLEB – BLIDA. Septembre 2014.
- [12] www.wikipedia.com

Annexes :

Annexe A :

Loi de Lenz :

Un courant sinusoïdal dans n spires bobinées sur un matériau magnétique fermé crée un flux magnétique sinusoïdal. Dans ce cas on a :

$$\phi(t) = \frac{ni(t)}{\mathfrak{R}}$$

Une variation de flux magnétique dans une spire provoque l'apparition d'une tension (f.e.m) créant un courant dont les effets s'opposent au flux. C'est la loi de Lenz :

$$u(t) = -n \frac{d\phi}{dt}$$

Donc :

$$u(t) = \frac{n^2}{\mathfrak{R}} \frac{di(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

L : l'inductance de la bobine.

Annexe B :

Loi de Faraday :

La forme intégrale, ou loi de Faraday, est la suivante : un circuit soumis à un flux magnétique variable Φ (issu d'un champ magnétique variable B) subit une force électromotrice e (en volts, en orientant e selon une convention générateur) telle que :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Où Φ est le flux de B à travers le circuit.

Dans un schéma électrique, cette force électromotrice est toujours fléchée avec la convention 'générateur'. Ainsi, lorsqu'on utilise la convention 'récepteur', la tension u aux bornes de ce circuit est égale à la somme des chutes de tension liées à l'intensité i qui le parcourt, retranchées de cette force électromotrice.

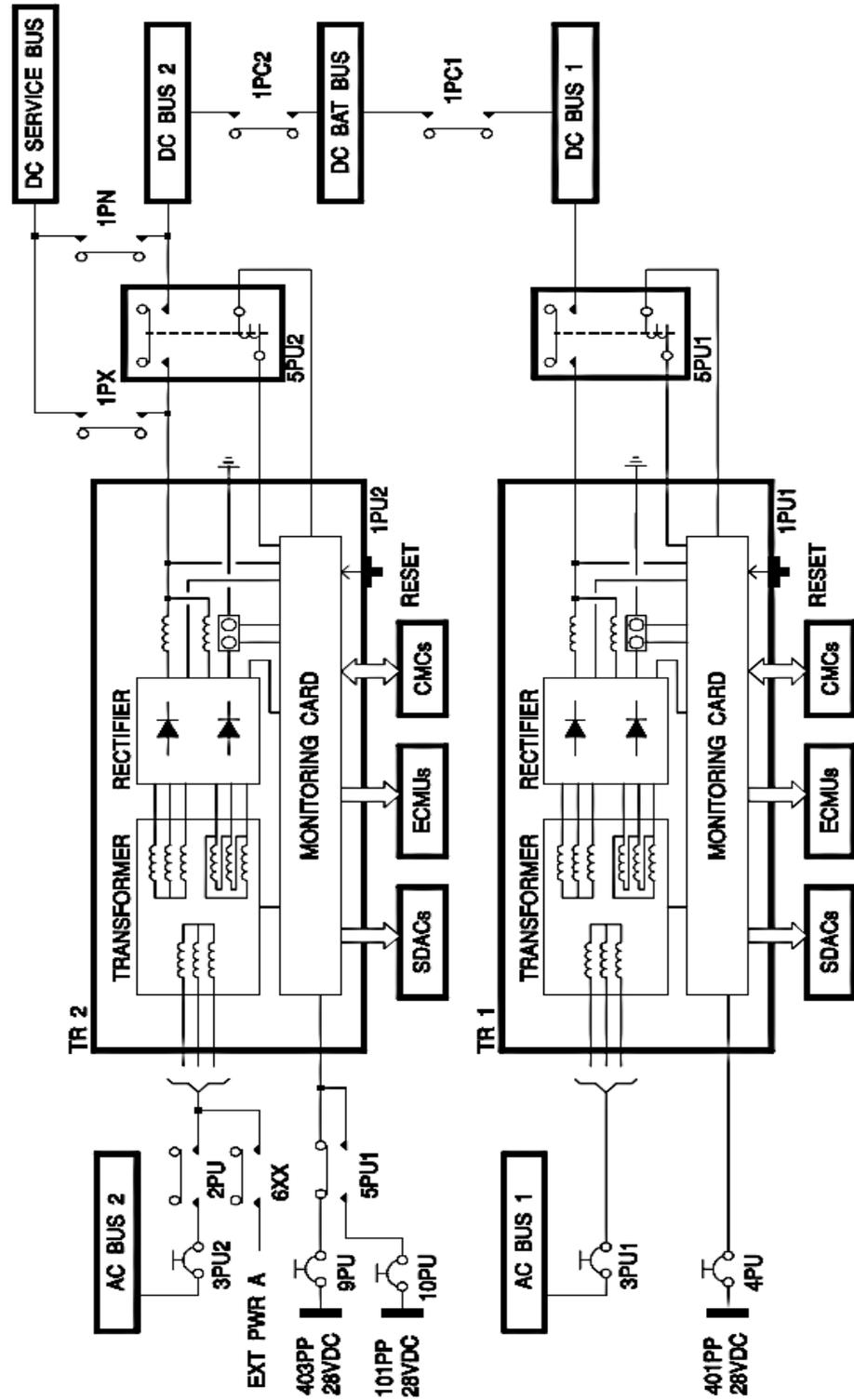
En régime de courant continu, on peut alors écrire ce qu'on appelle la loi d'Ohm généralisée :

$$U = R \cdot I - e$$

Où R est la résistance électrique du conducteur.

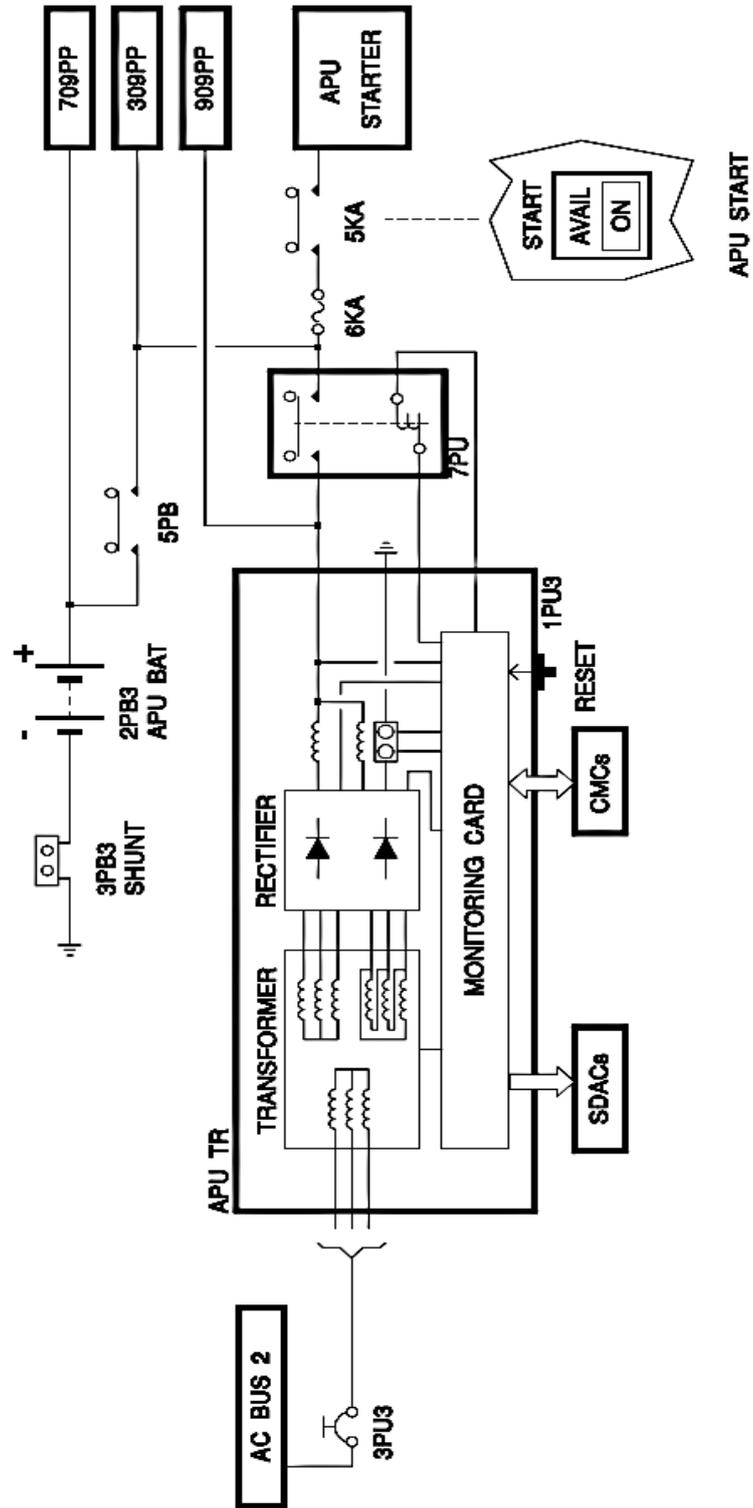
Annexe C:

Fonctionnement des TR 1 et 2



Annexe D :

Fonctionnement du TR APU



Annexe E :

Fonctionnement du TR ESS

