RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



UNIVERSITÉ YAHYA FARES DE MEDEA

جامعة يحي فارس المدية

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

كلية التكنولوجيا



DÉPARTEMENT GÉNIE ÉLECTRIQUE

Mémoire pour l'obtention du diplôme **MASTER**

En : **Électrotechnique**

Spécialité : Réseaux Électriques

Thème

Impact de la variation de charge sur le réseau électrique interne de la raffinerie Sidi R'zine Sonatrach

Présenté Par : *NOUTI ABDELLATIF*

Encadré par :

M. **ABDI SIF-EDDINE** Docteur à Univ-MEDEA Encadreur

M. **SEBAA KARIM** Professeur à Univ-MEDEA Co-Encadreur

Année Universitaire : **2023/2024**


بسم الله الرحمن الرحيم

Didicace

Je dédie le fruit de ce travail à la mémoire de mon père, que Dieu lui fasse miséricorde.

À toute ma chère famille, petits et grands, qui m'ont toujours soutenu.

À tous ceux qui m'ont encouragé et accompagné dans la poursuite de mes études.

شكر و عرفان

أبدأ بالشكر لله تعالى الذي منحني الشجاعة والصبر لإتمام هذا العمل.

أود أن أعرب عن خالص شكري للمشرف، الدكتور عبدي سيف الدين، على دعمه القيم وصبره ودقته العلمية. وقد ساهمت نصيحته بشكل كبير في تنظيم عملي وتحسين جودة أقسامه المختلفة.

أود أيضا أن أتقدم بالشكر الجزيل لنائب المشرف، البروفيسور سبع كريم، على المساعدة والتوجيه بخبرته في جزء المحاكاة.

والشكر الجزيل أيضا للمهندس الكهربائي بالشركة السيد خلافي محمد عبد الله على نصائحه الحكيمة ومتابعته الدقيقة لعملي.

وأود أن أعرب عن امتناني لجميع الأشخاص، القريبين والبعيدين، الذين دعموني طوال وقت إنجاز هذا العمل.

أخيرًا، أود أن أعرب مقدما عن امتناني لجميع أعضاء لجنة التحكيم على الشرف الذي سيمنحوني إياه بتخصيص الوقت لقراءة هذا العمل وتقييمه.

Remerciment

Je commence par exprimer ma gratitude envers Allah le Tout-Puissant pour m'avoir accordé le courage et la patience nécessaires pour mener ce travail à son terme.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon promoteur, **Dr. ABDI Sifeddine**, pour son soutien précieux, sa patience et sa rigueur scientifique. Ses conseils ont grandement contribué à structurer mon travail et à améliorer la qualité de ses différentes sections.

Je souhaite également remercier chaleureusement mon co-promoteur, **Professeur SBAA KARIM**, pour son assistance et son expertise dans la partie simulation.

Un grand merci également à l'ingénieur électricien de l'entreprise, **M. KHELLAFI MOHAMED ABDELLAH**, pour ses conseils avisés et son suivi attentif de mes travaux.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes, proches ou éloignées, qui m'ont soutenu tout au long de ce travail.

Enfin, je souhaite exprimer d'avance ma gratitude envers tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو التركيز على الدراسة الديناميكية لشبكة الكهرباء بمصفاة الجزائر $RA1G$.
لتحقيق هذا الهدف، تم إجراء دراسة باستخدام نماذج محاكاة في برنامج $ETAP$ **لاختبار سيناريوهات مختلفة واختيار الحلول المثلى لضمان التشغيل المستقر لمصادر الكهرباء** $(GTG - STG)$ **رغم الاضطرابات.**
يمكن تطبيق النتائج التي تم الحصول عليها من هذه المحاكاة من أجل تحسين تشغيل المولدات، وكذلك إنشاء نموذج نظري تطبيقي للدراسات المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: مصفاة الجزائر $RA1G$، **المولد** GTG، **المولد** STG، **برنامج** $ETAP$ ، **محاكاة.**

Abstract

This thesis focuses on the dynamic study of the Algeria Refinery RA1G electrical network, using simulation models under ETAP to test various scenarios and choose optimal solutions, ensuring stable operation of electrical sources (GTG-STG) despite disturbances.
The results obtained can be applied to optimize generator operation and create an theoretical and practical model for future studies.

Keywords: Algeria refinery RA1G, Generator GTG, Generator STG, ETAP, Simulation.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est de se concentrer sur l'étude dynamique du réseau électrique de la Raffinerie d'alger RA1G.
Pour cela, une étude a été menée en utilisant des modèles de simulation sous ETAP pour tester divers scénarios et choisir les solutions optimales, afin d'assurer un fonctionnement stable des sources électriques (GTG-STG) malgré les perturbations.
Les résultats obtenus peuvent être appliqués à l'optimisation du fonctionnement des générateurs, ainsi qu'à la création d'un modèle théorique et pratique pour les études futures.

Mots Clée : Raffinerie d'Alger RA1G, Générateur GTG, Générateur STG, Simulation, ETAP.

Table des matières

Table des figures **I**

Liste des tableaux **III**

Liste des Algorithmes **IV**

INTRODUCTION GÉNÉRALE **1**

1 RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INDUSTRIELS **3**

1.1 Définition de Réseaux Électriques Générale 4
1.2 Introduction aux Réseaux Électriques Industriels 4
1.3 Caractéristiques des Réseaux Électriques Industriels 5
1.3.1 Tension élevée : 5
1.3.2 Redondance : 5
1.3.3 Surveillance et contrôle avancé : 5
1.3.4 Normes de sécurité : 5
1.4 Composants des Réseaux Électriques industriels 6
1.4.1 Transformateurs de puissance : 6
1.4.2 Les sources internes : 7
1.4.3 Tableaux de distribution : 7
1.4.4 Interrupteurs et disjoncteurs : 8
1.4.5 Générateurs de secours : 9
1.4.6 Systèmes de surveillance : 10
1.5 Défis et Solutions dans les Réseaux Électriques Industriels 11
1.5.1 Maintenance préventive : 11
1.5.2 Utilisation d'énergies renouvelables : 11
1.5.3 Gestion de l'énergie : 12
1.5.4 Formation du personnel : 12
1.6 Conclusion 12

2 PRÉSENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER RA1G **13**

2.1 Introduction . . . 14
2.2 Localisation Géographique de la Raffinerie : . . . 14
2.3 Historique . . . 15
2.4 Production de la Raffinerie d'Alger . . . 15
2.5 les Unités Internes de la Raffinerie : . . . 16
2.5.1 Unité de Distillation Atmosphérique (ADU) . . . 16
2.5.2 Unité Catalytique de Fissuration des Résiduels de Fluidique (RFCCU) : 16
2.5.3 Bloc de Soufre (SRU) . . . 16
2.5.4 Traitement du Gasoil (FGATU) . . . 16
2.5.5 Traitement d'Amine (ARU) . . . 17
2.5.6 Régénérateur d'Eau Acidique (SWS) . . . 17
2.5.7 Unité d'Hydro-Traitement du Naphte (NHTU) . . . 17
2.5.8 Unité d'Isomérisation (LNISOM) . . . 17
2.5.9 Régénération Catalytique Continue (CCRU) . . . 18
2.5.10 Les Utilités . . . 18
2.6 Conclusion . . . 18

3 LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTERNE DE LA RAFFINERIE. 19
3.1 Introduction . . . 20
3.2 Présentation du Réseau Électrique Interne . . . 20
3.3 Les Composants Principaux du Réseau Électrique Interne. . . . 22
3.4 Sous Station 60kV (SS-YARD) : . . . 23
3.5 Sous Station Distribution (SS-CPP) . . . 26
3.6 Les Sources Internes de la Raffinerie . . . 29
3.6.1 Le Générateur à gaz *GTG* . . . 29
3.6.2 Le Générateur à vapeur *STG* . . . 30
3.6.3 Synchronisation et couplage de générateur au réseau . . . 32
3.7 La Sous-Station SS-23 . . . 32
3.8 Conclusion . . . 33

4 SIMULATION DU RÉSEAU RA1G ET COMPARAISON 34
4.1 Introduction . . . 35
4.2 Simulation du Réseau de RA1G . . . 35
4.2.1 Définition du logiciel *ETAP* . . . 35
4.2.2 Données de simulation . . . 36
4.2.3 Conception du réseau sur ETAP . . . 42

4.2.4 Processus et scénarios de simulation 43
4.3 Résultats de Simulation 44
4.3.1 Configuration 01 : Alimentation par SONALGAZ 44
4.3.2 Configuration 02 : Alimentation mixte (SONELGAZ/GTG/STG) 46
4.3.3 Configuration 03 : Alimentation Autonome 50
4.3.4 Récapitulatif des configurations 58
4.4 Comparaison entre la Simulation et le Fonctionnement Réel 59
4.4.1 Présentation de l'interface ECS 59
4.4.2 Résultats ECS du réseau réel de l'usine 60
4.4.3 Comparaison entre les résultats de la simulation *ETAP* et les données du réseau réel 63
4.5 Nouveau paramétrage de la simulation 66
4.6 Conclusion 69

CONCLUSION GÉNÉRALE **70**

Bibliographie **72**

A Annexe Algorithmes **a**
A.1 Algorithme Fonctionnement GTG . . . . . b
A.2 Algorithme Fonctionnement STG c

Table des figures

Fig. 1.1 Structure générale d'un réseau électrique 4
Fig. 1.2 Transformateur de puissance 6
Fig. 1.3 Modèle tableau HTA 8
Fig. 1.4 Disjoncteur HTA 9
Fig. 1.5 Générateur de secour 10
Fig. 1.6 Relais de protection différentiel ligne 11

Fig. 2.1 Localisation géographique de la raffinerie d'Algérie 14

Fig. 3.1 Le tracé des lignes d'alimentation électrique de la raffinerie 21
Fig. 3.2 Schéma synoptique d'alimentation de la raffinerie d'Alger 22
Fig. 3.3 Schéma de principe des équipements pour une travée 24
Fig. 3.4 Schémas bloc de travée liaison souterraine 60 kV 26
Fig. 3.5 Schémas bloc de travée ligne 60 kV 26
Fig. 3.6 Vue générale sources d'alimentation (ECS) 27
Fig. 3.7 Schémas bloc de philosophie d'exploitation le poste SS-CPP 28
Fig. 3.8 Cellule disjoncteur module 8DB 28
Fig. 3.9 Principe de fonctionnement de la GTG 30
Fig. 3.10 Principe de fonctionnement de la STG 31
Fig. 3.11 La sous-station SS-23 sur l'ECS 33

Fig. 4.1 Modèle le réseau électrique de l'usine 42
Fig. 4.2 Configuration 01 : Alimentation par SONALGAZ 44
Fig. 4.3 Courbes de la charge variable KM-002-B 45
Fig. 4.4 Comportement de l'arrivée SONELGAZ 45
Fig. 4.5 Configuration 02 : Alimentation mixte (SONELGAZ/GTG/STG) 47
Fig. 4.6 Courbes de la charge variable 520-KM-002-B 48
Fig. 4.7 Comportement de d'alternateur GTG 49
Fig. 4.8 Comportement de d'alternateur STG 49
Fig. 4.9 Fréquence sur le jeu de barre 20KV 50

Fig. 4.10 Configuration 03 : Alimentation par GTG et STG 51
Fig. 4.11 Courbe de la charge variable KM-002-B 52
Fig. 4.12 Impact de la variation du charge sur le générateur GTG 53
Fig. 4.13 Impact de la variation du charge sur générateur STG 53
Fig. 4.14 Fréquence sur le jeu de barre 20KV 54
Fig. 4.15 Configuration 03 : Alimentation GTG Seul 55
Fig. 4.16 Courbe de la charge variable KM-002-B 56
Fig. 4.17 Impact de la variation du charge sur l'alternateur GTG 56
Fig. 4.18 Fréquence sur le jeu de barre 20KV 57
Fig. 4.19 Impact sur le GTG pour les diffèrent configurations 58
Fig. 4.20 Vue générale des sources d'alimentation sur ECS 59
Fig. 4.21 Vue générale de la sous-station SS-23 sur ECS 60
Fig. 4.22 Comportement du Moteur 520-K-002-B 60
Fig. 4.23 Comportement de l'alternateur GTG 61
Fig. 4.24 Comportement de l'alternateur STG 61
Fig. 4.25 La fréquence au JB 20KV 62
Fig. 4.26 Comparaison des puissances 63
Fig. 4.27 Comparaison des vitesses de rotation 64
Fig. 4.28 Comparaison des fréquences 65
Fig. 4.29 Schéma de la nouvelle configuration 02 mixte 66
Fig. 4.30 Comparaison des fréquences 67
Fig. 4.31 Comparaison des vitesses de rotation 68
Fig. 4.32 Comparaison des fréquences 68

Liste des tableaux

Tab. 3.1 Spécification lignes 60 kV 21
Tab. 3.2 Relais de protection (SIEMENS SIPROTEC) 25
Tab. 3.3 Description de module 8DB 29

Tab. 4.1 Données des lignes 36
Tab. 4.2 Données de TR-12-01-A et TR-12-01-B 37
Tab. 4.3 Données de GTG 38
Tab. 4.4 Données de STG 39
Tab. 4.5 Données de CPP-TR-32-01 et CPP-TR-32-02 40
Tab. 4.6 Données des moteurs 520-KM-002-A et B 41

Liste des Algorithmes

A.1 Fonctionnement du GTG . . . . . b
A.2 Fonctionnement du STG c

NOMENCLATURE

LISTE D'ABRÉVIATIONS

RA1G **RA**FFINERIE NUMÉRO **1** D'AL**G**ER

ETAP Electrical Transient Analyzer Program(*Programme d'Analyseur de Transitoires Electriques)*

AIS Air Insulated Switchgear (*Appareillage de commutation isolé à l'air)*

CB Circuit Breaker (*Disjoncteur pour (ETAP))*

HTB Haut Tension B

HTA Haut Tension A

BTB Basse Tension B

BTA Basse Tension A

O.H.L Overhead Line (*La Ligne Aérienne*)

U.G Underground (*Souterrain*)

PMD Puissance Mise à Disposition

ALMELEC Alliage d'Aluminium, de Magnésium et de Silicium

PSEM Protection. Structure. Enveloppe. Métallique

DCE Data Concentrator Electrical (*Concentrateur de données électriques)*

DCS Distributed Control System (*Système de Contrôle Distribué)*

EDG Emergency Diesel Generator (*Générateur Diesel de Secours)*

ECS Electrical Control System (*Système de Contrôle Électrique)*

ESD Emergency Shutdown (*Arrêt d'Urgence)*

GCP Generator Control Panel (*Panneau de Contrôle du Générateur)*

UCP Unit Control Panel (*Unité du panneau de commande)*

PMG Permanant Magnetic Generator(*Générateur à aimant permanent)*

MTB Main Terminal Box (*Boîte à bornes principale)*

GIS Gas Insulated Switchgear (*Appareillage de Commutation Isolé au Gaz)*

SS-CPP Sous-Station-Centrale de Production Propre

SS-YARD Sous-YARD

SS-23 La Sous Station 23

GTG Gas Turbine Generator (*Générateur à Turbine à Gaz)*

GTR Grounding Transformer Resistors (*Résistances de Mise à la Terre du Transformateur)*

kWe Electrical power in kW (*Puissance Électrique en kW)*

kWm Mechanical power in kW (*Puissance Mécanique en kW)*

LCS Local Control System (*Système de Contrôle Local)*

MCC Motor Control Center (*Centre de Contrôle des Moteurs)*

NGR Neutral Ground Resistor (*Résistance de Mise à la Terre Neutre)*

OLTC On Load Tap Changer (*Changeur de Prise en Charge)*

OWS Operator Workstation (*Salle de Contrôle)*

PMS Power Management System (*Système de Gestion de l'Énergie)*

RTU Remote terminal unit (*Unité Terminale à Distance)*

STG Steam Turbine Generator (*Générateur à Turbine à Vapeur)*

UPS Uninterruptible Power Supply (*Alimentation sans Interruption)*

ADU Atmospheric Distillation Unit (*Unité de Distillation Atmosphérique*)

RFCC Fluidics Residual Cracking Catalytic (*Catalytique de Fissuration des Résiduels de Fluidique*)

SR Sulfur Recovery (*récupération du soufre*)

FGAT Fuel GAs Treating (*Traitement du gaz combustible*)

AR Amine Treatment (*Traitement aux Amines*)

SWS Sour Water Stripper (*Décapant à l'Eau Aigre*)

NHT Naphtha Hydrotreater (*Hydro-traitement du Naphte*)

LNISOM Light Naphtha Isomerisation (*Isomérisation du Naphta Léger*)

CCR Continuous Catalytic Regeneration (*Régénération Catalytique Continue*)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Durant la seconde moitié du 20ème siècle, l'Algérie s'est affirmée comme un acteur majeur du raffinage pétrolier en Afrique. Les cinq raffineries du pays, établies à Skikda, Hassi Messaoud, Arzew, Adrar et Alger, sont sous la tutelle de la Compagnie Nationale Sonatrach, consolidant ainsi la position de l'Algérie dans l'industrie pétrolière [1].

Avec une capacité de raffinage estimée à 677 000 barils par jour ou 32 millions de tonnes par an [2], ces installations jouent un rôle crucial dans l'économie énergétique du pays. Elles transforment le brut en produits carburants et pétrochimiques essentiels pour les marchés nationaux et internationaux [3].

La Raffinerie d'Alger (RA1G) représente un maillon essentiel de la chaîne d'approvisionnement de carburant dans la région centre. Son réseau électrique interne assure l'alimentation en énergie de tous les équipements. Dans un environnement industriel complexe et dynamique, la fluctuation et la variation de la demande électrique peuvent devenir une préoccupation majeure, susceptible d'impacter la stabilité et la performance du réseau.

Notre étude vise à explorer l'impact de la variation de charge représenté par le moteur synchrone 520-K-002-B de puissance de 5.2 MW sur le réseau électrique interne représenté par le générateur GTG spécifique à la RA1G. Comprendre ce défi est essentiel pour garantir la continuité des opérations, minimiser les risques d'interruption et améliorer l'efficacité énergétique de la raffinerie. [2], [4].

La problématique de cette étude réside dans le changement brusque de la puissance absorbée par la charge du moteur 520-K002-B en très peu de temps, en raison de la nature de son fonctionnement et de la charge à entraîner. Cela provoque une fluctuation notable au niveau du générateur GTG, affectant la puissance produite, la vitesse de rotation du rotor, et même la fréquence du réseau électrique de l'usine dans son ensemble.
L'étude se divise en quatre chapitres fondamentaux :

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble des réseaux électriques industriels, mettant en lumière leur importance, leur structure et leurs composants.

Le deuxième chapitre fournit une description détaillée de la raffinerie d'Alger (RA1G),

notamment de sa localisation, de son fonctionnement, de sa capacité de production et de son importance dans le contexte énergétique algérien.

Le troisième se concentre sur le réseau électrique interne spécifique à la RA1G, décrivant ses composants, son fonctionnement et ses défis particuliers.

Dans le quatrième chapitre une simulation du réseau électrique de la raffinerie d'Alger (RA1G) est réalisée à l'aide du logiciel ETAP, permettant d'analyser les variations de charge et leurs effets sur le réseau. De plus, nous allons faire une comparaison des résultats de la simulation du réseau électrique de la RA1G avec les données réelles, afin d'évaluer la validité du modèle et d'identifier d'éventuelles divergences.

Notre étude est terminée par une conclusion générale

Chapitre 1

RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INDUSTRIELS

1.1 Définition de Réseaux Électriques Générale

Un réseau électrique constitue une infrastructure complexe et interconnectée, essentielle à la distribution efficace de l'électricité des sources de production vers les points de consommation. Il englobe un ensemble d'équipements, tels que des lignes aériennes et souterraines, des sous-stations, des câbles, des appareillages, des transformateurs, ainsi que d'autre éléments, qui une fois assemblés forment le réseau électrique.
La qualité de cette infrastructure joue un rôle déterminant dans la fourniture d'une alimentation électrique fiable et de haute qualité aux clients finaux.
Un réseau bien conçu et fonctionnel assure la transmission sécurisée de l'électricité et la coordination des informations et des commandes entre ses différents composants. Il agit comme un système nerveux, assurant la protection des structures et des équipements contre les défaillances externes et les perturbations internes telles que les variations de charge et les fluctuations de tension.
L'électricité est transportée à haute tension, voire très haute tension, sur de longues distances afin de limiter les pertes d'énergie lors du transfert. Le réseau joue ainsi un rôle crucial dans l'acheminement efficace de l'énergie électrique à travers des milliers, voire des centaines de milliers, de kilomètres de territoire [5].

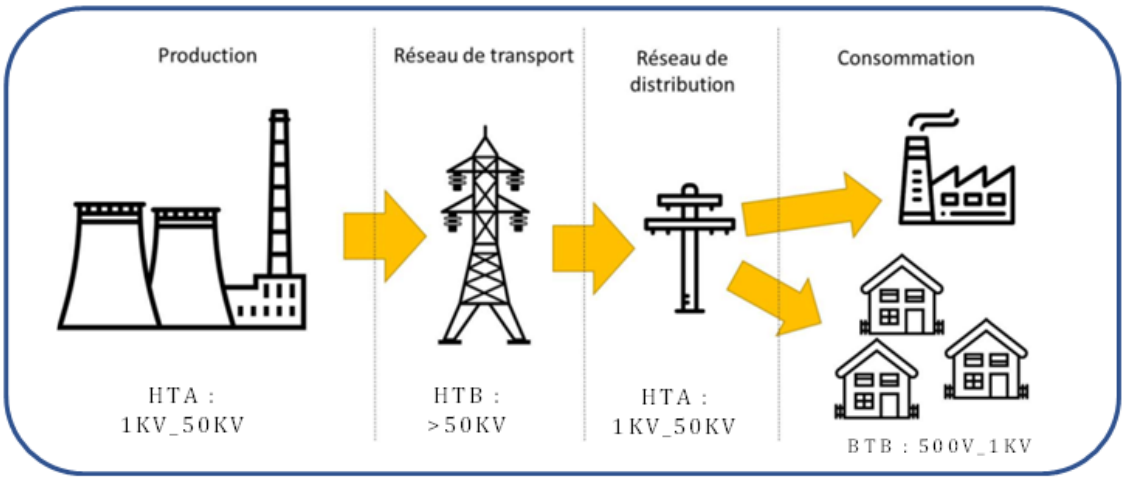


Figure 1.1: Structure générale d'un réseau électrique [6]

1.2 Introduction aux Réseaux Électriques Industriels

Les réseaux électriques industriels sont habituellement alimentés à partir du réseau de transport ou du réseau de distribution (répartition). Ils représentent des systèmes complexes conçus pour satisfaire les besoins énergétiques des installations industrielles. Contrairement

aux réseaux électriques publiques, les réseaux électriques industriels doivent tenir compte des exigences spécifiques liées aux processus de fabrication, aux équipements lourds et aux normes de sécurité industrielles [7].

1.3 Caractéristiques des Réseaux Électriques Industriels

Les réseaux électriques industriels se distinguent par plusieurs caractéristiques principales :

1.3.1 Tension élevée :

En effet, les réseaux électriques industriels fonctionnent souvent à des tensions supérieures à celles des réseaux résidentiels. Par exemple, ils peuvent fonctionner à des tensions de 20 kV ou plus, répondant ainsi aux besoins en puissance des équipements industriels [8].

1.3.2 Redondance :

Pour garantir la continuité du service et minimiser les temps d'arrêt, les réseaux électriques industriels intègrent généralement des systèmes de redondance et de secours. Ces systèmes peuvent inclure des alimentations de secours, des connexions multiples et d'autres dispositifs pour assurer un fonctionnement ininterrompu des équipements industriels, réduisant ainsi les pertes potentielles liées à une interruption de l'alimentation électrique [9].

1.3.3 Surveillance et contrôle avancé :

Les réseaux électriques industriels sont équipés de systèmes de surveillance et de contrôle avancés pour assurer une gestion efficace de la charge, détecter les pannes et optimiser les performances [9].

1.3.4 Normes de sécurité :

En raison des risques associés aux équipements industriels et aux processus de fabrication, les réseaux électriques industriels doivent respecter des normes de sécurité strictes pour prévenir les accidents et les incidents [10].

1.4 Composants des Réseaux Électriques industriels

Les principaux composants des réseaux électriques industriels comprennent plusieurs éléments :

1.4.1 Transformateurs de puissance :

Les transformateurs de puissance sont des équipements électriques essentiels qui permettent d'ajuster les niveaux de tension et de courant en fonction des besoins spécifiques de l'installation. Ils sont utilisés pour modifier la tension électrique d'un système, en augmentant ou en réduisant la valeur de la tension pour répondre aux exigences des équipements connectés au réseau électrique. Les transformateurs de puissance sont indispensables pour assurer la compatibilité entre les différents équipements électriques et pour garantir un fonctionnement sûr et efficace du système électrique. Ils sont généralement situés à des points stratégiques du réseau électrique, où les niveaux de tension doivent être ajustés pour répondre aux besoins de l'installation. Les transformateurs de puissance peuvent être utilisés pour abaisser la tension pour la distribution locale ou pour augmenter la tension généralement pour adapter les sources au réseau locale [11].



Figure 1.2: Transformateur de puissance
[12]

1.4.2 Les sources internes :

Dans de nombreuses industries, les sources internes telle que générateurs jouent un rôle crucial comme étant un élément du réseau électrique industriel. Ces générateurs sont conçus pour fournir une alimentation électrique fiable et continue, notamment en cas de panne du réseau principal. Leur présence assure la disponibilité de l'électricité complète, indispensable au bon fonctionnement de tous les équipements et à la sécurité des installations. De plus, les générateurs internes offrent une flexibilité opérationnelle en permettant aux entreprises de gérer leur propre demande d'électricité et de réduire leur dépendance vis-à-vis du réseau externe. Ils contribuent également à la stabilité du réseau en fournissant une réserve de puissance lors des fluctuations de la demande ou de défaillance du réseau externe. Les sources internes constituent un élément essentiel des réseaux électriques industriels, assurant la continuité des opérations et la résilience face aux perturbations électriques [13].

1.4.3 Tableaux de distribution :

Les tableaux de distribution sont des équipements électriques qui répartissent l'électricité provenant des sources d'alimentation principales ou des générateurs vers les différents circuits et équipements de l'installation. Leur fonction principale est de fournir une distribution efficace et sécurisée de l'électricité, en contrôlant le flux de courant vers les circuits spécifiques en fonction des besoins de l'installation. Les tableaux de distribution sont équipés de dispositifs de protection tels que des disjoncteurs, des fusibles et des interrupteurs, qui permettent de protéger les circuits contre les surcharges, les courts-circuits et autres anomalies électriques. Ils jouent un rôle crucial dans la gestion et la coordination de l'alimentation électrique au sein de l'installation, assurant ainsi le bon fonctionnement et la sécurité des équipements électriques [4].



Figure 1.3: Modèle tableau HTA
[14]

1.4.4 Interrupteurs et disjoncteurs :

Les interrupteurs et les disjoncteurs jouent un rôle crucial dans la sécurité et la protection du réseau électrique en permettant d'isoler les circuits en cas d'urgence ou de surcharge. En cas de problème, tels qu'une surcharge électrique ou un court-circuit, ces dispositifs peuvent être actionnés pour interrompre rapidement le flux de courant électrique dans le circuit concerné, évitant ainsi des dommages aux équipements électriques et assurant la sécurité des personnes. Les interrupteurs sont généralement utilisés pour ouvrir ou fermer manuellement un circuit électrique, tandis que les disjoncteurs sont conçus pour détecter automatiquement les surcharges ou les courts-circuits et interrompre le courant électrique de manière automatique pour protéger le circuit. Ces dispositifs de protection sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement du système électrique et prévenir les accidents électriques [11].



Figure 1.4: Disjoncteur HTA
[15]

1.4.5 Générateurs de secours :

Les générateurs de secours sont des équipements électriques conçus pour être activés automatiquement ou manuellement en cas de panne de courant ou de tout autre problème affectant l'alimentation électrique provenant du réseau principal. Leur fonctionnement est crucial pour assurer la continuité de l'électricité dans les situations d'urgence, telles que les pannes de courant généralisées, les catastrophes naturelles ou les incidents sur le réseau. En fournissant une source d'alimentation de secours, les générateurs de secours permettent de maintenir en fonctionnement les équipements essentiels, de sécuriser les installations critiques et de garantir la sécurité des personnes dans les situations d'urgence [4].



Figure 1.5: Générateur de secour
[16]

1.4.6 Systèmes de surveillance :

Ces systèmes sont conçus pour fonctionner en continu, surveillant de manière proactive les divers paramètres électriques d'un système donné. Leur objectif principal est de détecter toute déviation par rapport aux conditions normales de fonctionnement ou toute anomalie qui pourrait indiquer un dysfonctionnement ou une panne imminente. En identifiant ces problèmes potentiels dès qu'ils se produisent, les systèmes de surveillance permettent aux opérateurs ou aux systèmes automatisés de prendre rapidement des mesures correctives pour prévenir les pannes, minimiser les interruptions de service et garantir la fiabilité du système électrique [4].



Figure 1.6: Relais de protection différentiel ligne
[17]

1.5 Défis et Solutions dans les Réseaux Électriques Industriels

Les réseaux électriques industriels sont confrontés à divers défis, tels que les pannes d'équipements, les pénuries d'énergie et les risques liés à la sécurité. Pour relever ces défis, plusieurs solutions sont disponibles [18] :

1.5.1 Maintenance préventive :

En effectuant régulièrement des inspections et des tests sur les équipements critiques, les entreprises peuvent anticiper les pannes et prévenir les temps d'arrêt non planifiés. Cette approche proactive permet d'identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent des urgences, garantissant ainsi la continuité des opérations et la fiabilité du réseau électrique industriel [19].

1.5.2 Utilisation d'énergies renouvelables :

L'intégration de sources d'énergie renouvelable telles que le solaire et l'éolien offre une solution durable pour réduire la dépendance aux combustibles fossiles et diminuer l'empreinte environnementale des entreprises industrielles. En exploitant ces sources d'énergie propres et renouvelables, les entreprises peuvent contribuer à la transition vers une économie plus verte tout en assurant leur approvisionnement énergétique à long terme [20].

1.5.3 Gestion de l'énergie :

La mise en œuvre de systèmes de gestion de l'énergie avancés permet aux entreprises de surveiller, d'analyser et d'optimiser leur consommation d'énergie de manière efficace. En utilisant des technologies telles que la gestion de la charge, la régulation de la tension et le contrôle des appareils, les entreprises peuvent réduire leurs coûts énergétiques, minimiser leur impact sur le réseau électrique et améliorer leur efficacité opérationnelle globale [21].

1.5.4 Formation du personnel :

En fournissant une formation adéquate sur la sécurité électrique et les meilleures pratiques de gestion de l'énergie, les entreprises peuvent réduire les risques d'accidents et améliorer la performance globale du réseau [22].

1.6 Conclusion

Les réseaux électriques industriels jouent un rôle essentiel dans la fourniture d'énergie aux installations industrielles. En comprenant les caractéristiques, les composants et les défis associés à ces réseaux, les entreprises peuvent mettre en œuvre des solutions efficaces pour assurer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité de leur alimentation électrique.

Chapitre 2

PRÉSENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER RA1G

2.1 Introduction

Ce chapitre offre un aperçu détaillé de la Raffinerie d'Alger, mettant en lumière son importance stratégique dans l'industrie pétrolière et gazière en Algérie. Nous explorerons la structure opérationnelle de la raffinerie, ses infrastructures clés, ainsi que son réseau électrique interne. En analysant ces aspects, nous chercherons à comprendre les défis spécifiques rencontrés par la raffinerie, en particulier en ce qui concerne la variation de charge sur son réseau électrique interne.

2.2 Localisation Géographique de la Raffinerie :

La raffinerie est située à 5 km au sud de la ville d'El-Harrach et à 20 km de la capitale Alger, au lieu-dit : Sidi R'cine, occupant une superficie de 182 hectares. Stratégiquement positionnée dans la région d'Alger, elle se trouve à proximité des principaux centres urbains et des infrastructures de transport essentielles, tels que les ports pétroliers et les réseaux de pipelines. Sa localisation privilégiée lui permet de distribuer efficacement les produits raffinés sur le marché national. La proximité de la raffinerie avec les centres de consommation majeurs garantit également une distribution rapide et efficace des produits pétroliers finis [23], [24].

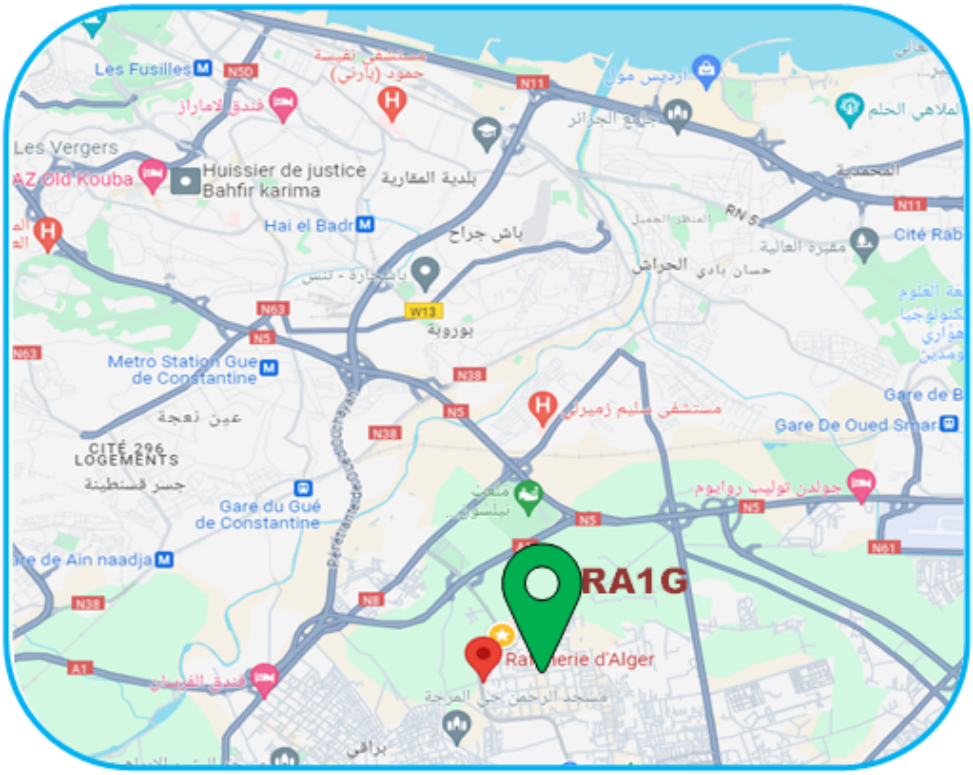


Figure 2.1: Localisation géographique de la raffinerie d'Algérie [25]

2.3 Historique

La Raffinerie d'Alger, construite en 1960 par la société "FOSTER WHEELER", joue un rôle essentiel dans le traitement et le raffinage du pétrole brut en Algérie. Entrée en service en 1964, elle a nécessité un investissement initial de 27 milliards de centimes. Cette installation est spécifiquement dédiée au traitement du brut de Hassi Messaoud ainsi que des condensats de Hassi R'Mel, répondant ainsi à la demande croissante en carburant sur le marché national.
Initialement, entre 1964 et 1971, l'alimentation en pétrole brut de la raffinerie se faisait par l'intermédiaire de tankers depuis les ports pétroliers de BEJAIA et d'ALGER, puis par un pipeline de 26 pouces jusqu'au parc de stockage. À partir de 1979, un piquage de BENI-MANSOR, issu du pipeline de 24 pouces reliant HMD/BEJAIA, a été mis en place. Ce piquage, réalisé à travers un oléoduc de 16 pouces sur une longueur de 131 km, permet d'alimenter directement la raffinerie avec un débit de 500 m^3.
Après une décennie d'exploitation basée sur la régulation et le contrôle pneumatique, la nécessité d'une rénovation s'est fait sentir en raison de plusieurs problèmes opérationnels liés à la dégradation de l'instrumentation en place. En effet, environ 80% de l'instrumentation du tableau de contrôle, basée sur la technologie pneumatique, est devenue obsolète, avec des pièces de rechange coûteuses et difficiles à obtenir. Pour répondre aux exigences de fiabilité, de flexibilité et de maintenance, il était impératif de moderniser les systèmes de régulation et de contrôle. Par conséquent, la solution la plus appropriée a été le remplacement de l'instrumentation pneumatique par un système à base de microprocesseurs connu sous le nom de « SYSTÈME DCS » [23] [24] [26].

2.4 Production de la Raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger traite 3,6 millions de tonnes par an de pétrole brut saharien. La production est au norme Euro V [27], elle permet de couvrir 95% des besoins en carburants la sollicité de la région centre en Algérie.
SONATRACH s'est engagée à améliorer sa production de carburant et de gaz pour répondre aux normes d'émission européennes de 2009 [28]. Dans le cadre de ses plans d'expansion, elle a récemment augmenté sa capacité de production actuelle, notamment en construisant de nouvelles unités et en modernisant d'anciennes unités [23], [24].

2.5 les Unités Internes de la Raffinerie :

2.5.1 Unité de Distillation Atmosphérique (ADU)

L'unité de Distillation Atmosphérique (ADU) a pour principal objectif la séparation initiale du pétrole brut. Son fonctionnement consiste à fractionner le brut en différents composants, ce qui permet de produire des distillats directs et des produits d'alimentation pour d'autres unités de traitement en aval, après des procédés de traitement appropriés. En d'autres termes, cette unité joue un rôle essentiel dans le processus global de raffinage en permettant la séparation des composants du pétrole brut, ce qui est crucial pour la production de divers produits pétrochimiques et combustibles [23], [24].

2.5.2 Unité Catalytique de Fissuration des Résiduels de Fluidique (RFCCU) :

L'unité RFCCU est essentielle dans le raffinage pour transformer les fractions lourdes du pétrole brut en produits plus légers et à plus grande valeur ajoutée comme l'essence et le diesel. Ce processus repose sur l'utilisation de catalyseurs pour décomposer les hydrocarbures lourds en molécules plus petites. [23], [24]

2.5.3 Bloc de Soufre (SRU)

Le bloc de soufre (SRU) est une unité cruciale pour contrôler les émissions de soufre dans le raffinage en récupérant le soufre des produits pétroliers et des gaz résiduels. Cela permet de minimiser les émissions de dioxyde de soufre (SO2) conformément aux normes environnementales. Le processus implique généralement l'oxydation du sulfure d'hydrogène (H2S) pour produire du soufre, qui est ensuite récupéré pour être réutilisé dans d'autres applications industrielles [23], [24].

2.5.4 Traitement du Gasoil (FGATU)

L'unité de traitement du gasoil (FGATU) est chargée de purifier et de désulfurer le gasoil afin de répondre aux spécifications de qualité requises pour les carburants. Généralement, ce processus comporte plusieurs étapes, dont l'hydrodésulfuration. Cette dernière consiste à éliminer le soufre du gasoil en le faisant réagir avec de l'hydrogène en présence de catalyseurs. L'objectif est de réduire la teneur en soufre du produit final à des niveaux acceptables, tout en préservant ses autres propriétés chimiques et physiques [23], [24].

2.5.5 Traitement d'Amine (ARU)

L'unité de traitement d'amine (ARU) a pour mission d'éliminer le dioxyde de carbone (CO2) et le sulfure d'hydrogène (H2S) des gaz de traitement afin de garantir la qualité du produit final et de réduire les émissions polluantes. Ce procédé repose sur l'utilisation de solutions d'amines, qui réagissent avec les contaminants acides pour former des composés solubles pouvant être éliminés du flux de gaz. Une fois le traitement achevé, les gaz sont purifiés et peuvent être utilisés à d'autres fins ou rejetés dans l'atmosphère en toute sécurité [23], [24].

2.5.6 Régénérateur d'Eau Acidique (SWS)

Le régénérateur d'eau acidique (SWS) est une unité de traitement des eaux usées qui vise à neutraliser et éliminer les contaminants acides des effluents du raffinage. En utilisant des procédés chimiques et physiques, il sépare les composants acides de l'eau pour neutraliser leur potentiel corrosif. Cela réduit les risques environnementaux liés à la pollution des eaux et assure la conformité aux normes réglementaires en matière de rejet d'effluents [23], [24].

2.5.7 Unité d'Hydro-Traitement du Naphte (NHTU)

L'unité d'Hydro-traitement du naphte (NHTU) est chargée de purifier et de désulfurer le naphte, un produit intermédiaire du raffinage du pétrole brut, afin de répondre aux normes de qualité requises pour les carburants et autres produits pétrochimiques. Ce processus implique généralement l'hydrogénation catalytique, où le naphte est mis en contact avec de l'hydrogène sous pression élevée en présence de catalyseurs pour éliminer les impuretés, comme le soufre et l'azote, et pour améliorer ses propriétés de combustion [23], [24].

2.5.8 Unité d'Isomérisation (LNISOM)

L'unité d'isomérisation (LNISOM) est responsable de la conversion d'hydrocarbures linéaires en hydrocarbures ramifiés, afin d'améliorer leurs propriétés d'octane et de répondre aux exigences des carburants à haut indice d'octane. Ce processus implique généralement l'utilisation de catalyseurs pour réorganiser les molécules d'hydrocarbures et créer des structures moléculaires plus compactes et plus stables, ce qui améliore les performances des carburants et réduit les émissions polluantes lors de la combustion [23], [24].

2.5.9 Régénération Catalytique Continue (CCRU)

La régénération catalytique continue (CCRU) est une technologie utilisée dans le processus de reformage catalytique pour la production d'essence à haut indice d'octane. Cette unité vise à régénérer les catalyseurs utilisés dans le processus de reformage, qui peuvent se dégrader au fil du temps en raison de l'accumulation de coke et d'autres contaminants. Le processus de régénération consiste généralement à chauffer les catalyseurs usés pour éliminer les contaminants et à les réactiver pour une utilisation ultérieure, permettant ainsi une utilisation plus efficace des ressources et une production continue d'essence de qualité [23], [24].

2.5.10 Les Utilités

Les installations nouvellement intégrées à la raffinerie d'Alger comprennent les systèmes de vapeur et d'eau d'alimentation de chaudière, regroupés sous l'appellation d'unité CPP 751 (*centrale de production propre*). Cette unité est conçue pour fournir de la vapeur aux installations des unités de procédés et produire une eau d'alimentation de chaudière de qualité utilisée en interne par les nouvelles chaudières, ainsi que de distribuée sous forme d'eau d'appoint chaudière (EAC) haute pression à différentes unités de la raffinerie. De plus, la raffinerie est équipée d'un turbo-générateur à gaz (GTG) et d'un turbo-générateur à vapeur (STG), connectés au système de contrôle-commande électrique (ECS), pour répondre aux besoins électriques de l'ensemble de la raffinerie. Ces générateurs produisent de l'électricité au sein de l'unité CPP, avec la possibilité d'importer de l'électricité depuis le réseau national de SONELGAZ si nécessaire.
Les utilités contiennent également une mini unité (U 781/U 780) pour produire de l'air comprimé à plusieurs niveaux afin de répondre aux besoins en air comprimé de la raffinerie [23], [24].

2.6 Conclusion

Ce chapitre offre un aperçu complet de la raffinerie d'Alger, mettant en lumière ses fonctions principales ainsi que ses différentes unités opérationnelles. Nous avons également examiné l'unité des utilités, incluant notamment l'unité de production et de gestion de l'électricité, qui joue un rôle crucial dans le fonctionnement global de la raffinerie. Par la suite, nous aborderons le réseau électrique, élément central souvent comparé au système nerveux de l'entreprise.

Chapitre 3

LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTERNE DE LA RAFFINERIE.

3.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur le réseau électrique interne de la RA1G, en mettant en évidence ses composants et ses sources d'alimentation internes et externes.
Nous examinerons également la consommation d'énergie et la production locale d'électricité au sein de l'entreprise. De plus, nous aborderons la problématique principale de cette thèse, que est le résultat du fonctionnement des compresseurs mentionnés précédemment (520-K-002), et qui provoque une variation importante et notable de l'absorption d'énergie électrique par le réseau, allant d'environ 1 à 4 MW.
Cette fluctuation affecte le réseau électrique dans son ensemble, et notamment le générateur de gaz (GTG), provoquant des vibrations inhabituelles et variables dans ce générateur, ce qui constitue l'un des principaux aspects abordés par cette étude.

3.2 Présentation du Réseau Électrique Interne

La société SONATRACH a prévu de produire des carburants conformes aux spécifications Euro-2009 [28]. Par conséquent, elle a prévu de mettre en œuvre un projet dans le cadre de la réhabilitation pour augmenter la capacité du complexe, y compris la modernisation des services publics existants et des installations hors site. La modernisation électrique et la modernisation des instruments, y compris le nouveau DCS (*Système de Contrôle Distribué)* et la salle de contrôle centrale, font également partie du plan de refonte.
Dans le cadre des travaux de modernisation électrique, un nouveau terminal de réception et de distribution d'électricité du réseau 60 kV ainsi qu'un certain nombre de sous-stations nouvelles et rénovées ont été envisagées. Cela comprendra également l'ajout et le remplacement des transformateurs, des appareillages de commutation existants. Les nouvelles communications de l'usine, l'alarme incendie, les systèmes téléphoniques dans l'usine et quelques bâtiments hors usine font également partie du projet.
La RA1G est alimentée à partir du poste d'interconnexion El-Harrach via deux Lignes HTB 60 kV d'une puissance de 64 MW, la première ligne souterraine de 36MW, et la deuxième ligne aérienne de 28MW [29].

Tableau 3.1: Spécification lignes 60 kV

[25]

Arrivées Poste GIS	Départ Source	Longueur (Km)	Section (mm^2)	Type Conducteur	M.E. S	P.M.D (MW)
Ligne Aérienne (O.H.L) 60 KV	Poste EL-HARRACH-1	3.2	366	ALMELEC (Aluminium, Magnésium, Silicium)	08/03/2005	28
Câble souterrain (U.G) 60 KV	Poste EL-HARRACH-2	4.25	630	CUIVRE	2019	36

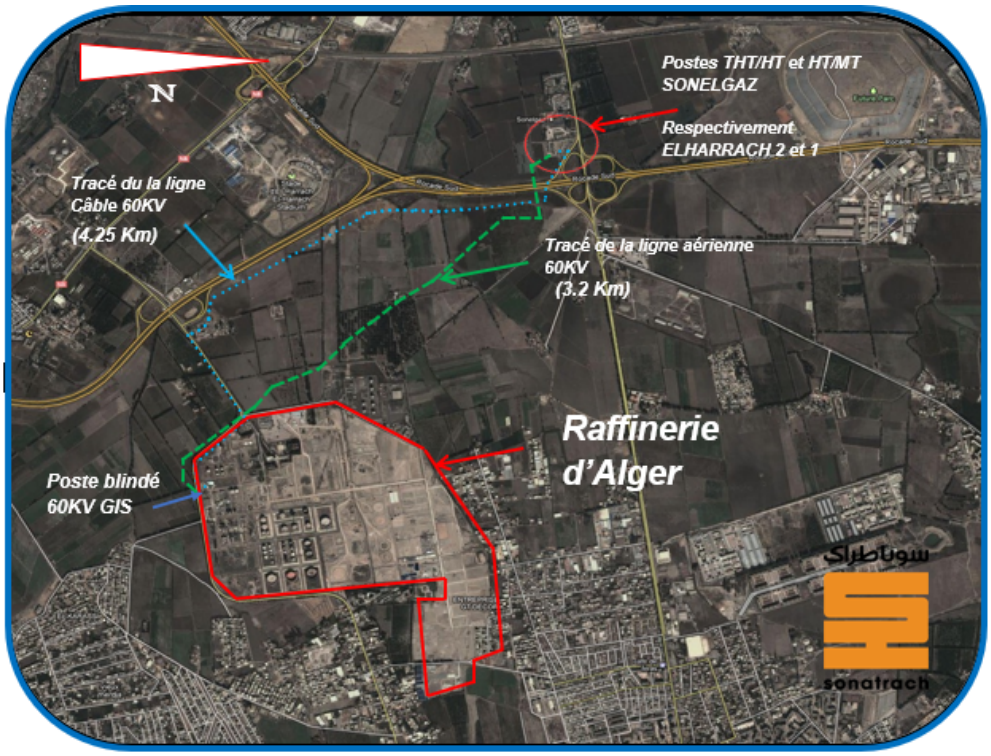


Figure 3.1: Le tracé des lignes d'alimentation électrique de la raffinerie
[25]

Comme le montre le tableau 3.1 et la figure 3.1, la raffinerie RA1G est alimentée en énergie électrique par le biais du poste d'interconnexion El-Harrach, qui fournit un total de 64 MW via deux lignes HTB 60 kV. Ces lignes comprennent une ligne souterraine de 36 MW et une ligne aérienne de 28 MW. La ligne aérienne, d'une section de 366 mm^2 et de type ALMELEC (Aluminium, Magnésium, Silicium), s'étend sur une longueur de 3.2 km, tandis que le câble souterrain (UG), d'une section de 630 mm^2 en cuivre, parcourt une distance de 4.25 km. Ce système d'alimentation électrique garantit un approvisionnement

stable en énergie pour les opérations de la raffinerie, assurant ainsi un fonctionnement efficace et continu des installations.

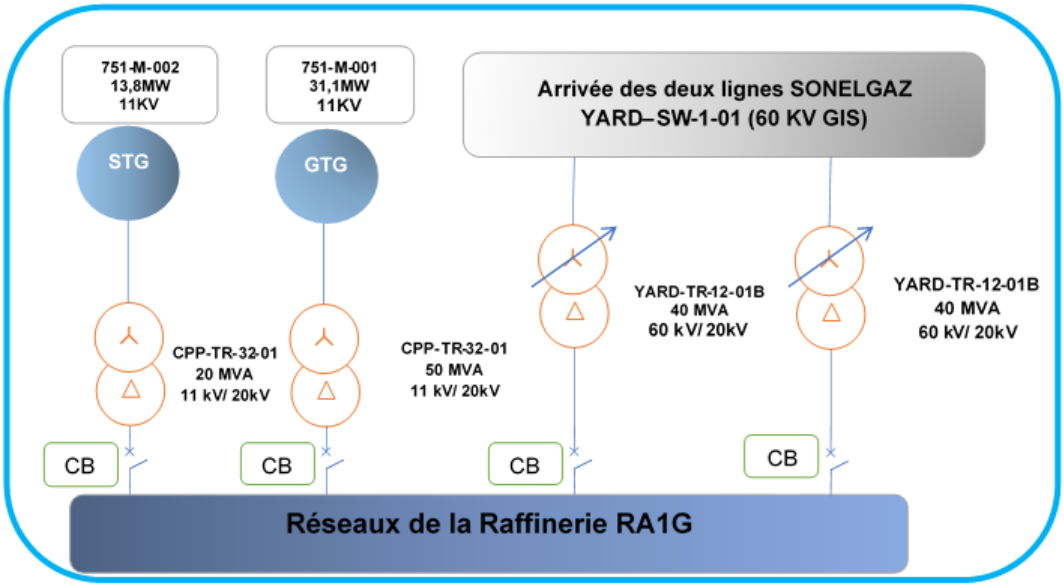


Figure 3.2: Schéma synoptique d'alimentation de la raffinerie d'Alger [25]

3.3 Les Composants Principaux du Réseau Électrique Interne.

Le réseau de distribution d'énergie électrique du la RA1G est principalement constitué de [26] :

- ✓ Deux (02) transformateurs HTB/HTA 60/20 kV de 40 MVA chacun.
- ✓ Un (01) transformateur HTB/HTA 60/5.5 kV de 12 MVA.
- ✓ Deux (02) transformateurs HTA/HTA 11/20 kV, l'un de 50 MVA et l'autre de 20 MVA.
- ✓ Dix (10) transformateurs HTA/HTA 20/5.5 kV (02 TRS de 20 MVA, 04 TRS de 16 MVA et 02 TRS de 6.3 MVA).
- ✓ Quarante-neuf (49) transformateurs HTA/BTB 5.5/0.42 kV d'une capacité combinée de 30 MVA.
- ✓ Deux (02) transformateurs BTB/BTB 0.42/0.42 kV de 0.5 MVA chacun.
- ✓ Deux (02) transformateurs (générateur homopolaire) HTA/BTB 20/0.41 kV de 0.25 MVA chacun.
- ✓ Un (01) transformateur HTA/BTB 5.5/0.41 kV de 12 MVA.

- ✓ Un (01) turbo-alternateur à gaz de 31.5 MW.
- ✓ Un (01) turbo-alternateur à vapeur de 13.8 MW.
- ✓ Un (01) groupe de secours 5.5 kV de 1.6 MW.

3.4 Sous Station 60kV (SS-YARD) :

La sous-station SS-YARD utilise le poste électrique sous enveloppe métallique (PSEM), également connu sous le nom de poste blindé. Ce type de poste électrique est équipé de dispositifs modernes et isole ses composants grâce à un gaz isolant, tel que l'hexafluorure de soufre (SF_6). La description du gaz SF_6 présente le processus industriel de synthèse de l'hexafluorure de soufre à partir de soufre et de fluor, obtenu par électrolyse. Ce processus est basé sur une réaction exothermique qui libère de la chaleur, comme l'indique l'équation suivante :

$$S + 3F_2 \rightarrow SF_6 + 262 \text{ kcal} \tag{3.1}$$

L'équation 3.1 montre que pour chaque atome de soufre (S) réagissant avec trois molécules de fluor (F_2), une molécule d'hexafluorure de soufre (SF_6) est formée, libérant 262 kcal d'énergie. Le SF_6 ainsi produit est un gaz incolore, inodore et non inflammable, largement utilisé dans diverses applications industrielles, notamment dans les installations électriques en raison de ses propriétés d'isolation électrique élevée. De plus, l'enveloppe métallique externe du PSEM est mise à la terre, conférant à ce type de poste des avantages tels que sa compacité et sa capacité à être installé à l'intérieur de bâtiments. La série GIS de type "8DN8" de Siemens est spécialement conçue pour des niveaux de tensions allant de 72,5 kV à 145 kV [30].

À l'intérieur des GIS se trouvent des composants similaires à ceux d'un poste conventionnel, assemblés en blocs modulaires appelés "compartiments". Ces composants comprennent :

- Deux jeux de barres avec les disjoncteurs de départ.
- Des sectionneurs.
- Des sectionneurs de mise à la terre.
- Des transformateurs de courant.
- Des transformateurs de tension.
- Des parafoudres.
- Des connecteurs (câbles) et transformateurs.
- Ainsi que des traversées isolées.

Principe de fonctionnement d'une travée GIS-60-8DN8

La travée GIS-60-8DN8 utilise l'hexafluorure de soufre (SF_6) comme gaz isolant. Son fonctionnement repose sur un ensemble de composants interconnectés. Les transformateurs de courant (TC) mesurent le courant circulant dans le système, tandis que les sectionneurs de terre avec pouvoir de coupure assurent la sécurité en isolant les parties du circuit en cas de besoin. Les jeux de barres permettent la distribution efficace de l'électricité à travers le poste électrique, tandis que les éléments de coupure des disjoncteurs assurent la fonction de protection en cas de surcharge ou de court-circuit. Le contrôle de l'ensemble du système est assuré par une armoire de commande, permettant une gestion à distance ou locale des différents équipements. En outre, des dispositifs de protection et de supervision sont intégrés pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité du poste électrique comme le montre la figure 3.3 [31].

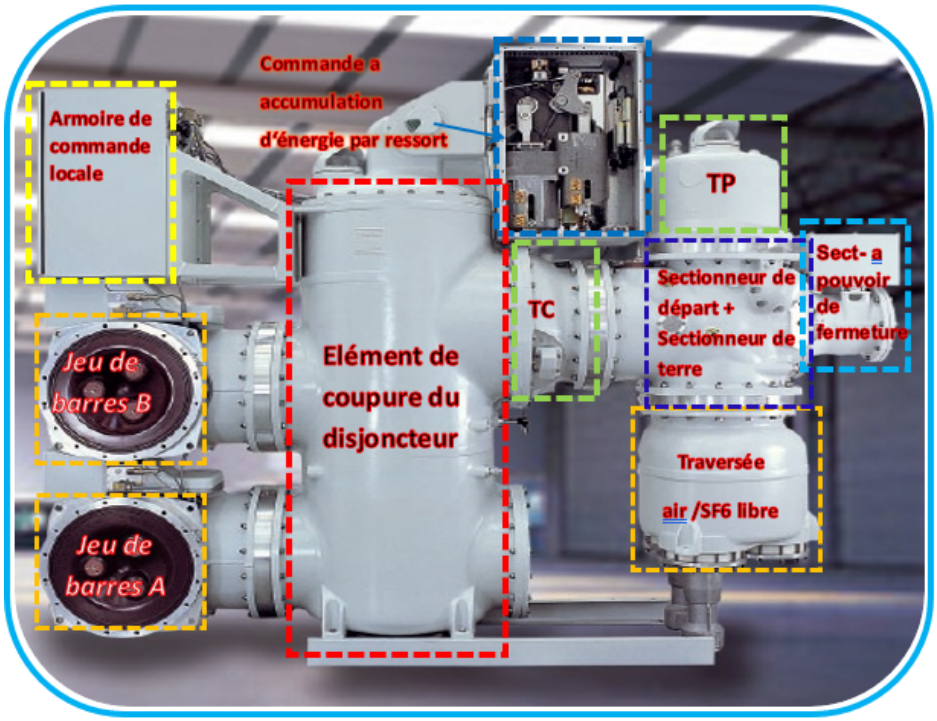


Figure 3.3: Schéma de principe des équipements pour une travée [25]

Lors de la présentation schématique des travées dans la figure 3.3, il a été noté que chaque équipement constituant la travée est commandé à distance ou localement. Ceci est réalisé à travers deux armoires distinctes : (l'armoire de Commande) et (l'armoire de Protection).

L'Armoire de Protection se trouve dans la chambre de contrôle et des UPS. Elle est constituée, entre autres, de la partie Puissance et Commande, qui comprend un ou plusieurs organes principaux appelés "Relais de Protection" SIEMENS SIPROTEC dans notre cas. Les informations telles que le nom (TAG ELECTRIQUE), la référence (CODE) et la spécificité (Description Technique) de ces relais sont présentées dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2: Relais de protection (SIEMENS SIPROTEC)

[25]

TAG ELEC.	DESCRIPTION TECHNIQUE	CODE DU FABRICANT	EQUIPEMENTS
F50 F50DD	Relais Protection Maximum de Courant et Tension Câble et Ligne Relais Protection Max de I Départ Transformateur	7SJ8041 7SJ8021	
F87BB	Protection Différentielle jeu de barres unité de travée.	7SS525	
F87T	Relais de Protection Différentielle Transformateur.	7UT612	
F87L	Relais de Protection Différentielle Ligne.	7SD52	
Armoire de commande « Travées »	Relais Multifonction de protection avec Synchronisation, (Utilisé comme Relais de surveillance ou contrôle de protection)	7SJ64	

Protection des deux arrivées 60 KV

Les figures 3.4 et 3.5 sont représentatives des liaisons utilisées au niveau des postes HTB SONELGAZ pour les deux types susmentionnés et globalement similaire aux arrivées retrouvées dans le poste blindé « GIS ».

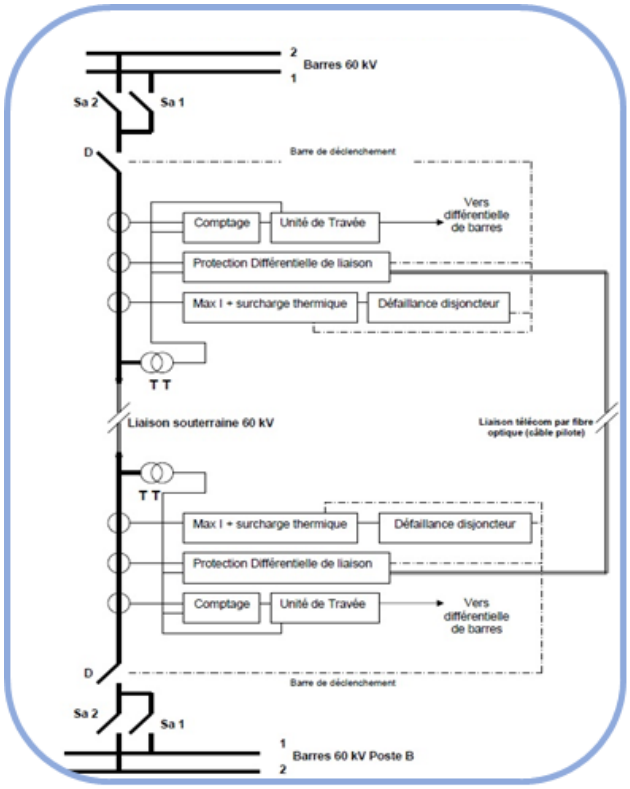


Figure 3.4: Schémas bloc de travée liaison souterraine 60 kV

[25]

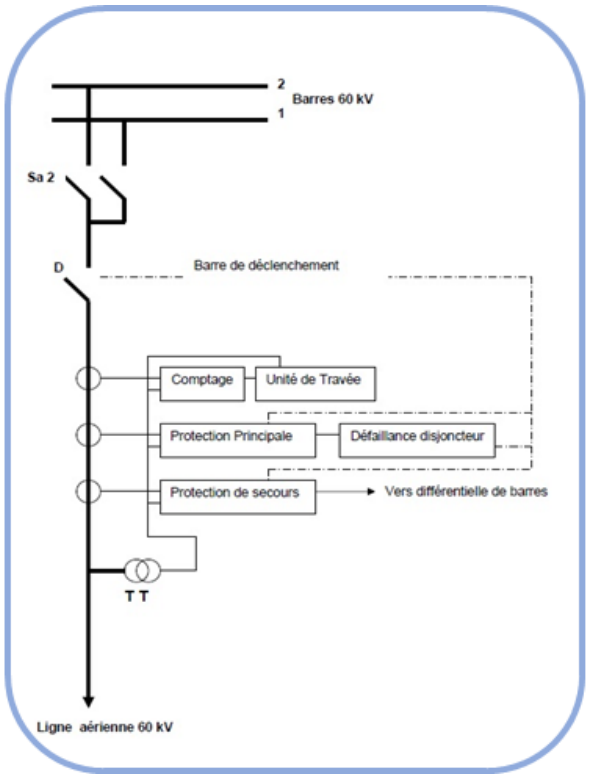


Figure 3.5: Schémas bloc de travée ligne 60 kV

[25]

3.5 Sous Station Distribution (SS-CPP)

Le bâtiment de distribution électrique est un élément essentiel de l'infrastructure électrique de toute installation. Le tableau principal de distribution 20 kV CPP-SW-2-01 est désigné comme le cœur du système, équipé d'un double jeu de barres isolé au gaz (GIS) spécialement conçu pour cette application. Toutes les sources d'alimentation électrique, qu'elles proviennent de la production interne de l'usine ou du réseau électrique externe, sont connectées à ce tableau de distribution. Celui-ci redistribue ensuite l'électricité vers les autres sous-stations de l'installation.

Chaque source d'alimentation, qu'il s'agisse de générateurs (STG, GTG) ou de transformateurs (60/20 kV), est équipée d'un double jeu de barres. Ces barres sont contrôlées par

des commutateurs de sectionneurs motorisés à trois positions, permettant la connexion à un seul jeu de barres à la fois. Chaque ligne de sortie est raccordée à un seul jeu de barres.

Les principales caractéristiques du tableau de distribution incluent un contrôle à la fois local et à distance (via un ECS -" *Système de Contrôle d'Exploitation*" figure 3.6), avec un contrôle local disponible sur le tableau lui-même pendant le fonctionnement normal, tandis que la gestion à distance est assurée par l'ECS. Des dispositifs de verrouillage internes et des procédures spécifiques sont mis en place pour garantir la sécurité et la fiabilité du système [30].

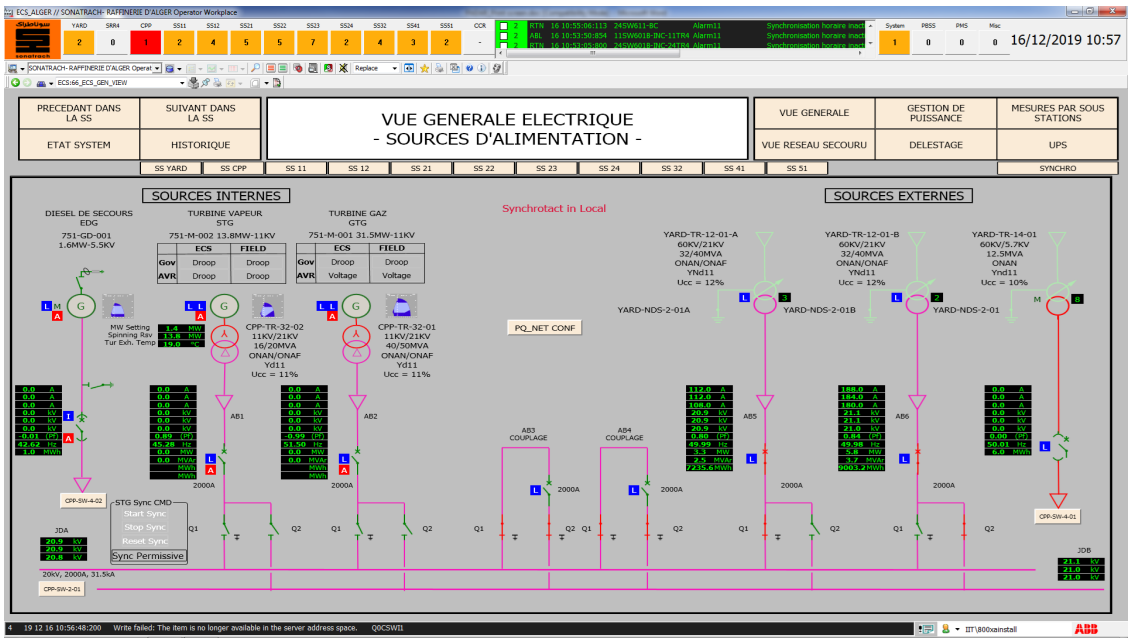


Figure 3.6: Vue générale sources d'alimentation (ECS)

Les sous-stations 20 kV et 5,5 kV sont alimentées à partir de ce tableau de distribution, avec chaque ligne de sortie connectée à l'un des deux jeux de barres. Pendant les phases transitoires, lorsqu'un basculement d'un transformateur à l'autre est nécessaire, les deux transformateurs peuvent être connectés en parallèle pour éviter les surtensions importantes sur les équipements en cas de défaut à la terre. Des relais de protection basés sur des microprocesseurs sont utilisés pour assurer les fonctions de protection et permettent une communication avec le réseau ECS [32].

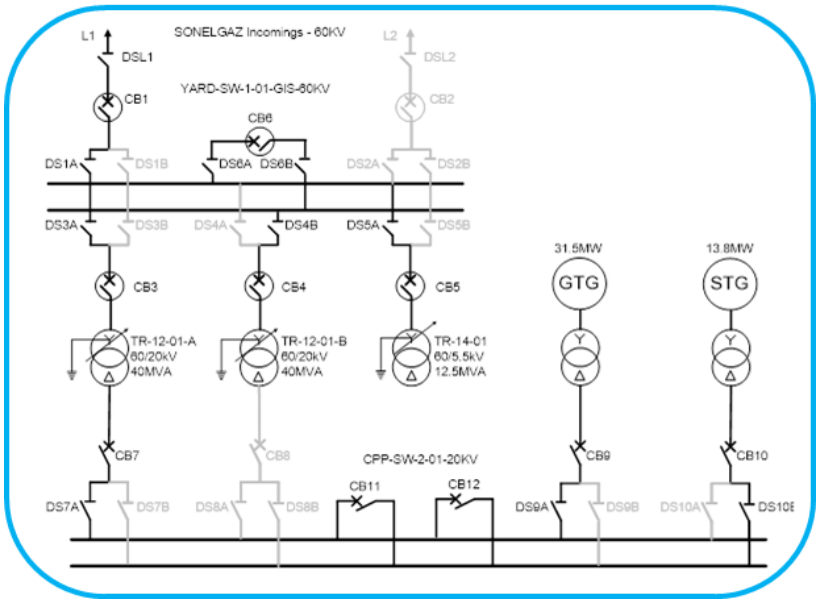


Figure 3.7: Schémas bloc de philosophie d'exploitation le poste SS-CPP [30]

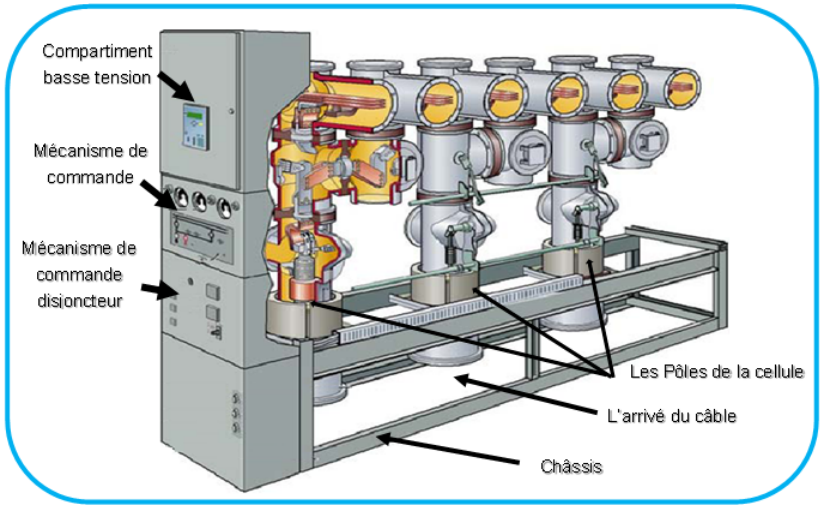


Figure 3.8: Cellule disjoncteur module 8DB [32]

Comme représenté sur la figure 3.8, la cellule disjoncteur du module 8DB de Siemens assure une protection fiable contre les surcharges et les courts-circuits [32]. Cette cellule est logée dans un compartiment basse tension intégré au châssis du système. Elle est équipée d'un mécanisme de commande de disjoncteur permettant d'activer et de désactiver le courant électrique en cas de besoin. L'arrivée du câble est connectée aux bornes dédiées, et les connexions internes sont sécurisées à l'intérieur du châssis. Les pôles de la cellule sont conçus pour garantir une distribution efficace et sécurisée de l'électricité dans le réseau électrique.

Ses caractéristiques sont répertoriées dans le tableau 3.2.

Tableau 3.3: Description de module 8DB

Caractéristique électrique	Valeur
Tensions assignées	Jusqu'à 40,5 kV
Courants assignés	Jusqu'à 2500 A
Courant de court-circuit	maximum 40 kA
Fréquence	50 Hz

3.6 Les Sources Internes de la Raffinerie

La raffinerie d'Alger dépend de deux générateurs principaux, à savoir GTG et STG, pour une capacité totale de 44,3 MW. Ces générateurs jouent un rôle essentiel dans la fourniture d'électricité nécessaire au fonctionnement de la raffinerie. [26]

3.6.1 Le Générateur à gaz *GTG*

La GTG (**G**az **T**urbine **G**énérateur), désignée par le code 751-M-001, est un équipement de production d'électricité qui convertir l'énergie chimique du combustible gazeux en énergie mécanique à l'aide d'une turbine à gaz. Cette énergie mécanique est ensuite utilisée pour faire tourner un générateur électrique, produisant ainsi de l'électricité. La GTG de la raffinerie d'Alger a une puissance maximale de 31,5 MW [26], [30].

Le principe de fonctionnement de la *GTG*

La GTG, abrégée en GT, fonctionne selon un principe de conversion d'énergie chimique en énergie électrique. Tout d'abord, le combustible gazeux est acheminé vers la turbine à gaz, où il est brûlé dans une chambre de combustion. La chaleur ainsi générée entraîne la rotation de la turbine, qui est connectée à un générateur électrique, désigné par G. Ce générateur produit de l'électricité en convertissant l'énergie mécanique de la rotation en énergie électrique [26], [30].

Comme représenté sur la figure 3.9, la régulation de la tension électrique produite, est faite par un dispositif appelé (AVR) « *Régulateur de Tension Automatique* ». Il ajuste automatiquement la tension de sortie du générateur pour maintenir une tension stable.

Le contrôle et la protection de la GTG est assuré par plusieurs panneaux et systèmes. Le « *Panneau de commande et de protection du générateur* » (GCPP) surveille et contrôle les

paramètres de fonctionnement de la GTG, tandis que le «*contrôle d'excitation du générateur* » (GEP), et l'unité de controle «*Panneau de commande d'unité*» (UCP) permettent de gérer l'ensemble de l'unité de génération.

Dans le cas spécifique de la GTG de la raffinerie d'Alger, est équipé d'un système de régulation spécifique, appelé "*Générateur à aimant permanent* (PMG), qui assure un fonctionnement continu et fiable. De plus, des panneaux de distribution tels que « *la Cellule latérale neutre de ligne*» (LNSC) et la « *Cellule côté ligne* » (LSC) sont utilisés pour acheminer l'électricité produite vers les différents équipements et systèmes de la raffinerie [14], [26], [30].

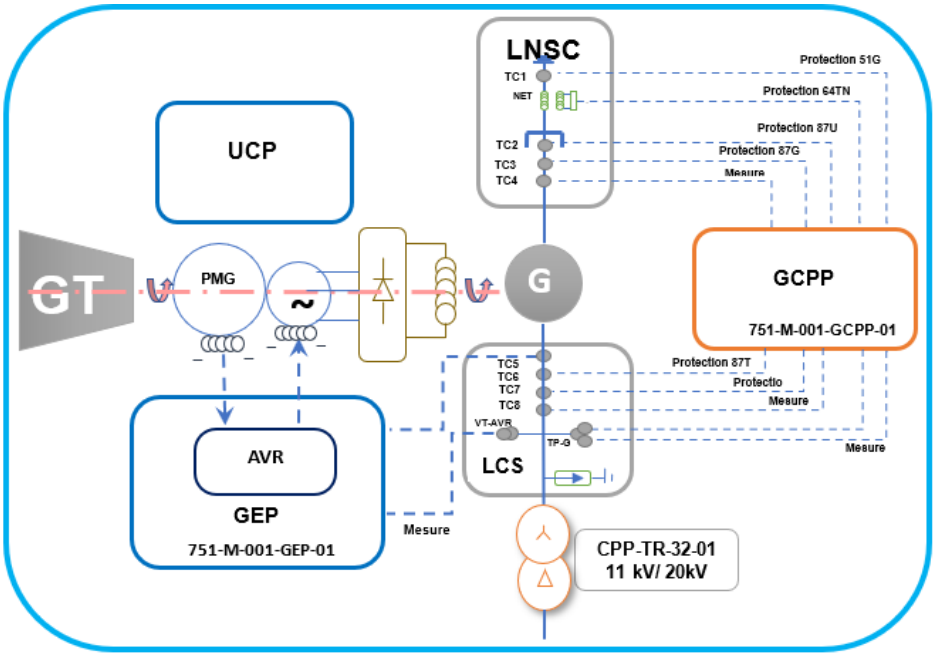


Figure 3.9: Principe de fonctionnement de la GTG
[14]

3.6.2 Le Générateur à vapeur *STG*

La STG (**S**team **T**urbine **G**énérateur), désignée par le code 751-M-002, est un équipement de production d'électricité qui utilise la vapeur comme source d'énergie pour faire tourner une turbine à vapeur. Cette turbine entraîne ensuite un générateur électrique qui convertit l'énergie mécanique en électricité. La STG de la raffinerie d'Alger a une puissance maximale de 13,8 MW [14], [26], [30].

Principe de fonctionnement de la *STG*

La **STG** , abrégée en ST, fonctionne selon un principe de conversion d'énergie thermique en énergie mécanique, puis en énergie électrique. Initialement, de la vapeur sous pression

est fournie à la turbine à vapeur, où elle est dirigée sur les aubes de la turbine. L'énergie thermique de la vapeur entraîne la rotation de la turbine, qui est connectée à un générateur électrique, désigné par G. Ce générateur produit de l'électricité en convertissant l'énergie mécanique de la rotation en énergie électrique.

Comme représenté sur la figure 3.10, Pour maintenir une tension électrique stable, un dispositif appelé "*Régulateur de Tension Automatique* " (AVR) est utilisé. Il ajuste automatiquement la tension de sortie du générateur.

Le contrôle de la STG est assuré par plusieurs panneaux et systèmes. Le "*Panneau de Contrôle du Générateur* " (GCP) surveille et contrôle les paramètres de fonctionnement de la STG, tandis que "*l'unité du panneau de commande*" (UCP) permet de gérer l'ensemble de l'unité de génération.

Dans le cas spécifique de la STG de la raffinerie d'Alger, est également équipé d'un système de régulation spécifique, appelé "*Générateur à aimant permanent*" (PMG), qui assure un fonctionnement continu et fiable. De plus, un boîtier de connexion principale, appelé "*Boîte à bornes principale*" (MTB), est utilisé pour acheminer l'électricité produite vers les différents équipements et systèmes de la raffinerie [14], [30], [26].

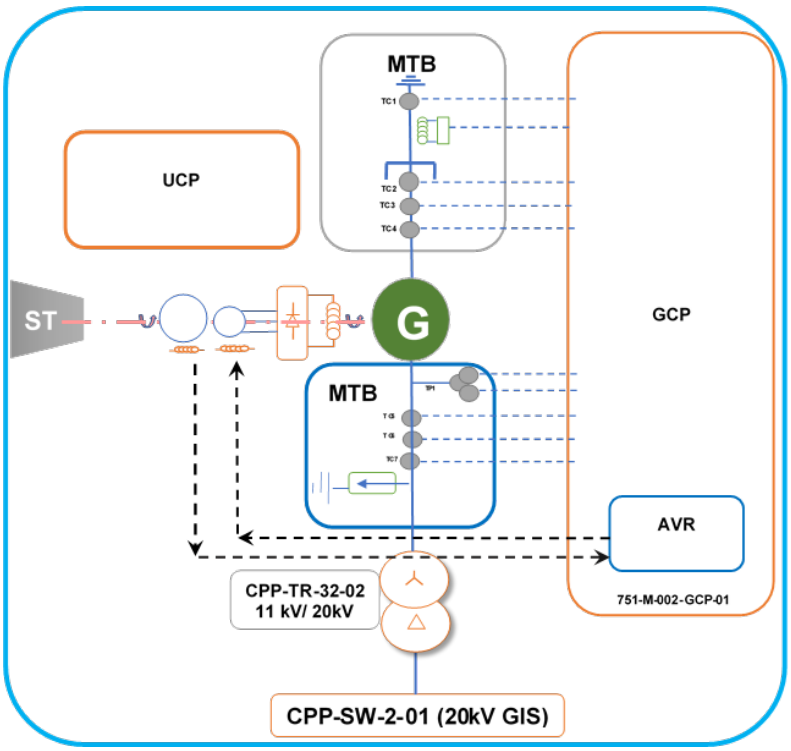


Figure 3.10: Principe de fonctionnement de la STG [14]

3.6.3 Synchronisation et couplage de générateur au réseau

Du côté de la connexion du générateur au réseau électrique, un système de synchronisation (synchroscope) est essentiel pour aligner les paramètres du générateur avec ceux du réseau. Une fois que le modèle global, comprenant tous les blocs, est établi, l'attention se porte spécifiquement sur le comportement de l'alternateur et de ses régulateurs. Un système de basculement automatique permet de passer du mode de contrôle isochrone au mode de contrôle à statisme, sous la supervision du synchroscope. Ce système garantit que le générateur GTG démarre et fonctionne jusqu'à ce que les paramètres de synchronisation (*fréquence, amplitude de la tension, déphasage et séquence des phases*) soient atteints. Une fois que le générateur est couplé au réseau électrique, le mode de contrôle à statisme prend le relais, et la turbine ajuste sa puissance pour atteindre la référence définie.
En ce qui concerne le générateur STG, il fonctionne comme un accessoire du générateur principal GTG, il STG utilise les paramètres de synchronisation du GTG (*fréquence, amplitude de la tension, déphasage et séquence des phases*) comme référence pour se coupler et s'abonner au réseau électrique de l'usine. Cette relation de synchronisation permet d'assurer une intégration harmonieuse et une distribution efficace de l'énergie produite par les deux générateurs dans le réseau électrique interne de la RA1G [33].

3.7 La Sous-Station SS-23

La sous-station SS-23 comprend un tableau de distribution 23-SW-2-01 (20 kV), de type AIS *"Appareillage de Commutation Isolé à l'Air"*. Les caractéristiques principales de ce tableau sont les suivantes :

- ✓ Contrôle local et à distance des alimentations entrantes/sortantes.
- ✓ Contrôle local disponible sur la face avant du tableau de commande.
- ✓ Les interrupteurs de mise à la terre peuvent être actionnés manuellement et uniquement localement.
- ✓ Les inter-verrouillages internes sont gérés par le tableau lui-même, utilisant des fonctions mécaniques.
- ✓ inter-verrouillage mécanique avec les alimentations amont (alimentations par câble de 20 kV) et les alimentations aval (alimentations des transformateurs 5.5 kV).
- ✓ Fonction de transfert automatique dans les relais de protection.
- ✓ Inhibition du démarrage des gros moteurs.
- ✓ Gestion du délestage de charge par ECS pour l'alimentation des transformateurs.
- ✓ Gestion ESD par le système de détection et d'extinction d'incendie [30].

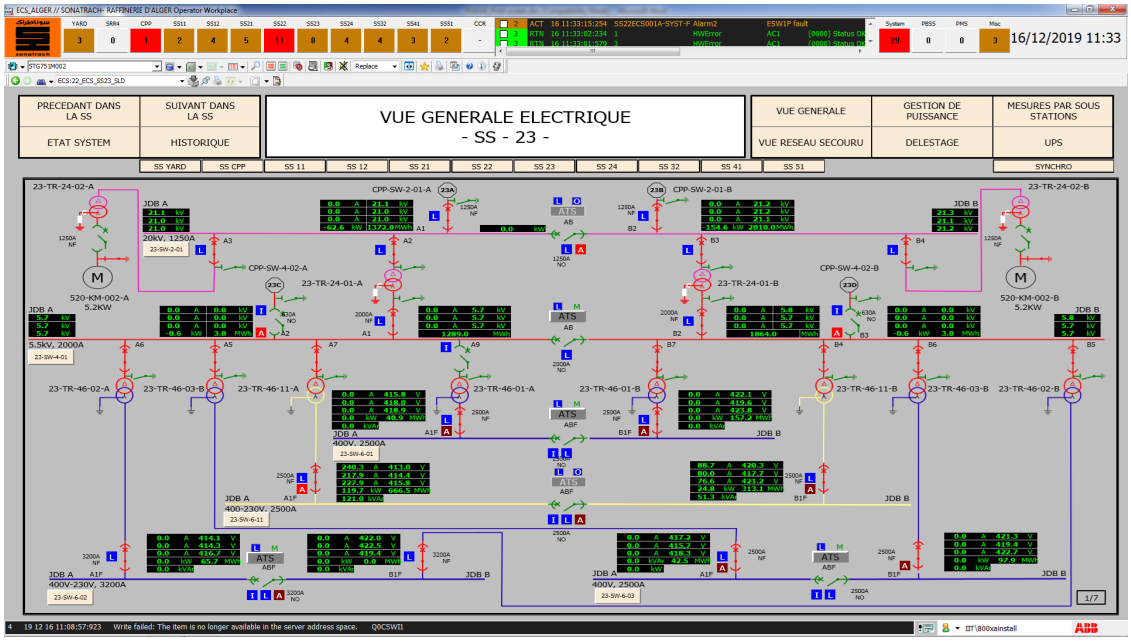


Figure 3.11: La sous-station SS-23 sur l'ECS

Moteurs synchrones 520-M-002-A et 520-M-002-B

Les moteurs synchrones 520-M-002-A et 520-M-002-B sont essentiels pour le fonctionnement des compresseurs 5.3 MW, dans la raffinerie. La capacité de démarrage de ces moteurs dépend de la capacité de court-circuit disponible du réseau électrique. En conditions normales, le réseau est suffisamment robuste pour supporter les impacts du démarrage des moteurs, tels que la chute de tension et la surexcitation des générateurs. Cependant, pour soulager le réseau et maintenir la stabilité de la tension et de la fréquence, une connexion au réseau doit être établie lors du démarrage des compresseurs susmentionnés. Cette procédure est spécifique aux compresseurs 520-KM-002-A et 520-KM-002-B, mettant en évidence l'importance critique des moteurs synchrones pour leur fonctionnement efficace [34].

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail le réseau électrique interne de la RA1G, en mettant en évidence ses composants ainsi que ses sources d'énergie internes et externes. Nous avons analysé la consommation d'énergie et la production locale d'électricité au sein de l'entreprise, en examinant les défis et les opportunités liées à la gestion de l'énergie. En outre, nous avons exploré la problématique centrale qui fait l'objet de cette thèse, en mettant en évidence les enjeux et les implications pour le fonctionnement global du réseau électrique de la RA1G.

Chapitre 4

SIMULATION DU RÉSEAU RA1G ET COMPARAISON

4.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur deux sections essentielles de l'analyse du réseau électrique interne de la RA1G.

- ▷ La première section explore une étude numérique axée sur la simulation du réseau, cette étude est cruciale pour évaluer sa performance et sa fiabilité. Elle permet d'anticiper les défis potentiels et d'optimiser les stratégies de gestion de l'énergie, notamment l'impact des compresseurs sur les générateurs.
- ▷ La seconde section consiste en une comparaison entre les résultats de la simulation et les données réelles, visant à valider le modèle et à identifier d'éventuelles divergences, dans le but d'améliorer la compréhension des performances du réseau et de formuler des recommandations pratiques pour son optimisation.

Ce chapitre constitue une étape importante avant la conclusion, où les résultats seront synthétisés et des perspectives d'action seront proposées. En analysant les résultats de la simulation, nous évaluons l'impact de la charge variable sur la stabilité du réseau électrique de l'usine.

4.2 Simulation du Réseau de RA1G

4.2.1 Définition du logiciel *ETAP*

ETAP (***E**lectrical **T**ransient **A**nalyzer **P**rogram*) est un logiciel de pointe utilisé dans l'industrie électrique pour la conception, la simulation et l'analyse des systèmes électriques de puissance. Il offre une étape importante pour modéliser des composants tels que les transformateurs, générateurs et lignes de transmission, permettant aux ingénieurs de créer des schémas détaillés. *ETAP* permet des simulations transitoires, de charge et de stabilité, offrant des informations cruciales sur le comportement du réseau électrique. Les fonctionnalités avancées incluent l'analyse de la qualité de l'énergie et la coordination de protection. En tant qu'outil polyvalent, *ETAP* est essentiel pour la prise de décision en matière de conception et de maintenance des infrastructures électriques, contribuant ainsi à garantir la fiabilité et la stabilité des réseaux électriques [35].
L'interface du logiciel ETAP est présenté dans l'annexe **??**.

4.2.2 Données de simulation

Pour obtenir une simulation précise répondant à notre objectif principal, nous avons attentivement sélectionné les éléments de base pertinents pour notre étude, notamment :

— La source externe décrite dans le tableau 4.1.

— Les colonnes de jeux de barres de 60 volts et 20 volts, comme illustré sur la figure 4.1.

— Les transformateurs de puissance, également présentés dans la figure 4.1.

— Les disjoncteurs électriques utilisés pour ouvrir et fermer les circuits, comme indiqué dans la figure 4.1.

— Les deux générateurs (GTG, STG) détaillés dans les sections 4.2.2.3 et 4.2.2.4.

— Le moteur synchrone 520-KM-002-B, dont les informations sont répertoriées dans le tableau 4.6.

Il est important de noter que l'architecture et la configuration électrique utilisées dans toutes les stations et sous-stations de l'usine sont des doubles jeux de barres et des doubles antennes, en raison de leurs avantages et de leurs points positifs.

4.2.2.1 SS-YARD

Les données du réseau électrique SONELGAZ d'après les fiches techniques [26] , [29], sont présentes dans le tableau 4.1 :

Tableau 4.1: Données des lignes

	Ligne Aérienne (O.H.L)	Câble Souterrain (U.G)
Longueur (Km)	3.19	4.3
Scc(Max)	1104 MVA	1586 MVA
Scc(Min)	649 MVA	1400MVA
Tension	60 KV	60 KV
Résistance à séquence positive(Rd)	0.1097 Ω/Km	0.111 Ω/Km
Réactance à séquence positive(Xd)	0.416 Ω/Km	0.13 Ω/Km
Zéro séquence réactance(R0)	0.112 Ω/Km	0.112 Ω/Km
Zéro séquence réactance (X0)	0.42 Ω/Km	0.13 Ω/Km

4.2.2.2 Transformateurs 60/20 KV

Les données des transformateurs de puissance principaux (YARD-TR-12-01-A et B) d'après la fiche technique [26] sont désignés dans le tableau 4.2 :

Tableau 4.2: Données de TR-12-01-A et TR-12-01-B

Description	**Valeur**	**Unité**
Puissance Apparent	32/40	MVA
Type de Refroidissement	NOAN/ONAF	
Indice Horaire	YNd11	
Facteur de Puissance	0.8	
Tension Primaire	60	KV
Tension Secondaire	21	KV
Ucc% (Z)	12	%
X/R	45	

4.2.2.3 Générateur GTG

Les caractéristiques du générateur GTG sont présentées dans le tableau 4.3 [26], [36].

Tableau 4.3: Données de GTG

Description	**Valeurs**			**Unité**
Puissance apparent	39.357			MVA
Puissance active	31.7			MW
Tension	11			KV
Facteur puissance	0.8			
Fréquence	50			Hz
N de poles	4			
Résistance d'armateur	0.488			%
Description	**Valeurs saturées**	**Tolérance**	**Valeurs insaturées**	**Tolérance**
Réactance sous-transitoire l'axe-d (Xd")	13.9%	±15%	17.7%	±15%
Réactance transitoire l'axe-d (Xd')	20.7%	±15%	25.2%	±15%
Réactance synchrone l'axe-d (Xd)	128%		195.4%	
Réactance sous-transitoire de l'axe-q (Xq")	15.9%		23.8%	
Réactance synchrone l'axe-q (Xq)	90.4%		96.5%	
Réactance négative inverse ($X2$)	18.1%		18.1%	
Réactance homopolaire ($X0$)	12.3%		12.3%	
Constante de temps transitoire sur l'axe-d ($T\ do$)	8.71s	±30%		
Rapport (X/R)	28.477			

4.2.2.4 Générateur STG

Les caractéristiques du générateur STG sont présentées dans le tableau 4.4. [26], [37], nous avons le tableau suivant :

Tableau 4.4: Données de STG

Description	**Valeurs**			**Unité**
Puissance apparent	17.25			MVA
Puissance active	13.8			MW
Tension	11			KV
Facteur de puissance	0.8			
Fréquence	50			Hz
N de Poles	4			
Résistance d'armateur	1.047			%
Description	**Valeurs saturées**	**Tolérance**	**Valeurs insaturées**	**Tolérance**
Réactance sous-transitoire l'axe-d (Xd")	19.9%	±15%	23.1%	±15%
Réactance transitoire l'axe-d (Xd')	29.8%	±15%	33.9%	±15%
Réactance synchrone l'axe-d (Xd)	204%			
Réactance négative inverse ($X2$)	25.5%			
Réactance homopolaire ($X0$)	9.9%			
Constante de temps transitoire sur l'axe-d ($T\ do$)	7.8 s	±30%		
Rapport (X/R)	19.007			

4.2.2.5 Transformateurs 11/21 KV

Les deux transformateurs de puissance (CPP-TR-32-01 CPP-TR-32-02) qui sont situés à la sorties des deux générateurs sont présentés dans le tableau 4.5 [26] :

Tableau 4.5: Données de CPP-TR-32-01 et CPP-TR-32-02 [26]

CPP-TR-32-01 (GTG)			**CPP-TR-32-02 (STG)**	
Description	***Valeur***	***Unité***	***Valeur***	***Unité***
Puissance apparente	40/50	MVA	16/20	MVA
Type de refroidissement	NOAN/ONAF		NOAN/ONAF	
Indice horaire	YNd11		YNd11	
Facteur de puissance	0.8		0.8	
Tension Primaire	11	KV	11	KV
Tension secondaire	21	KV	21	KV
Ucc% (Z)	11	%	11	%
X/R	45		20	

4.2.2.6 Moteurs Synchrones 520-KM-002-A et B

Sur la base des données d'usine "DATA SHEET" [34], nous examinons en détail dans le tableau 4.6 les données du moteur (520-KM-002-B), qui représentent un exemple réel de la charge variable à étudier.

Tableau 4.6: Données des moteurs 520-KM-002-A et B

Description	**Valeurs**	**Unité**
Type de la Machine	Moteur Synchrone	
Puissance Nominale	5200	KW
Tension Nominale	5500	V
Facteur de Puissance ($\cos\phi$)	1	
Courant Nominal et au charge à l'unité ($\cos\phi = 1$)	562	A
Courant du Rotor Verrouillé	2284	A
Couplage Statorique	Triangle	(Δ)
Nombre de Pôles	18	Pôles
Courant de démarrage par rapport la charge%	400% à 100%	320% à 80%
Temps de démarrage à pleine charge	2.1	Sec
Temps de tenue du rotor verrouillé	8.2	Sec
Système de lubrification	N/A	
Réactance sous-transitoire l'axe-d (Xd")	0.221	%
Réactance transitoire l'axe-d (Xd')	0.339	%
Réactance synchrone l'axe-d (Xd)	1.209	%
Réactance homo-polaire ($X0$)	0.133	%
	Donnée Excitatrice	
Type de Courant	AC/DC	
Courant d'excitation	8	A(DC)
Tension d'excitation	85	V(DC)
	Donnée mécaniques	
Vitesse synchrone	333	rpm
Max. Puissance à l'arbre	4930	KW
Puissance à l'arbre au point de fonctionnement	4434	KW
Couple de Démarrage	50	%
Couple de retrait	150	%
Type de couplage	Directement à bride	
Couple de freinage	141400	N.m
Couple de freinage au démarrage	22354.27	N.m
Inertie de la machine (J)	2140	$\mathrm{kg\,m^2}$

4.2.3 Conception du réseau sur ETAP

A partir des données présentées dans la sous-section 4.2.2, le modèle de réseau RA1G est représenté dans la figure 4.1.

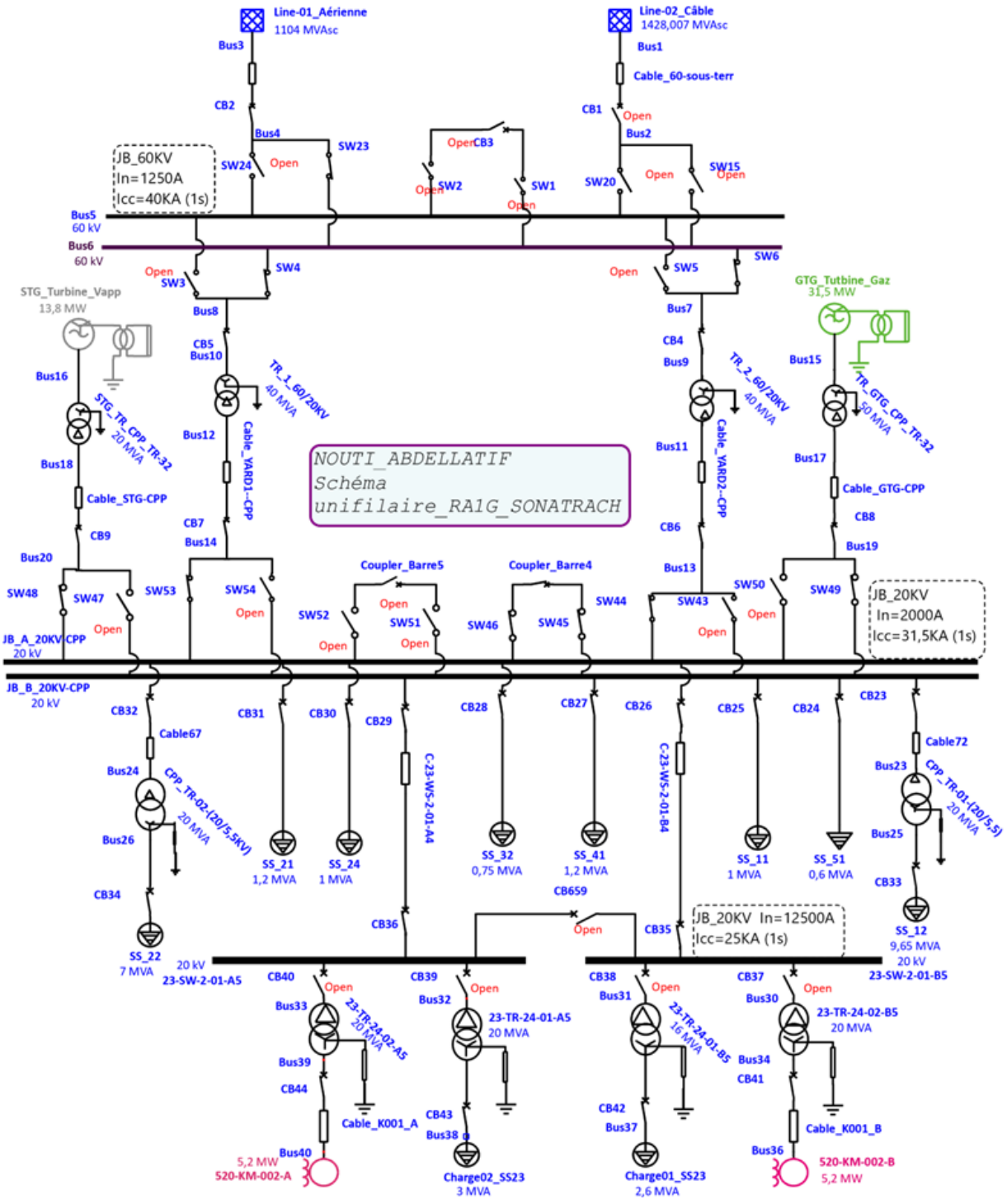


Figure 4.1: Modèle le réseau électrique de l'usine

4.2.4 Processus et scénarios de simulation

Le processus et les scénarios de simulation que nous allons analyser ont pour objectif d'examiner l'effet du changement au niveau de la charge du moteur synchrone 520-KM-002-B sur les deux générateurs. Notre travail consiste à créer une charge variable et irrégulière qui reflète fidèlement le changement réel observé dans le fonctionnement du moteur.

Ce modèle de charge est introduit dans notre simulation du réseau électrique de l'usine. Les différentes configurations et les conditions d'alimentation sont testées selon trois configurations principales :

- ▷ Configuration 01 : Alimentation par SONALEGAZ
- ▷ Configuration 02 : Alimentation Mixte
- ▷ Configuration 03 : Alimentation Autonome

4.3 Résultats de Simulation

4.3.1 Configuration 01 : Alimentation par SONALGAZ

Dans la figure 4.2, nous séparons toutes les sources d'énergie internes de l'usine, laissant seule la source externe pour alimenté, approvisionner et gérer la demande énergétique.

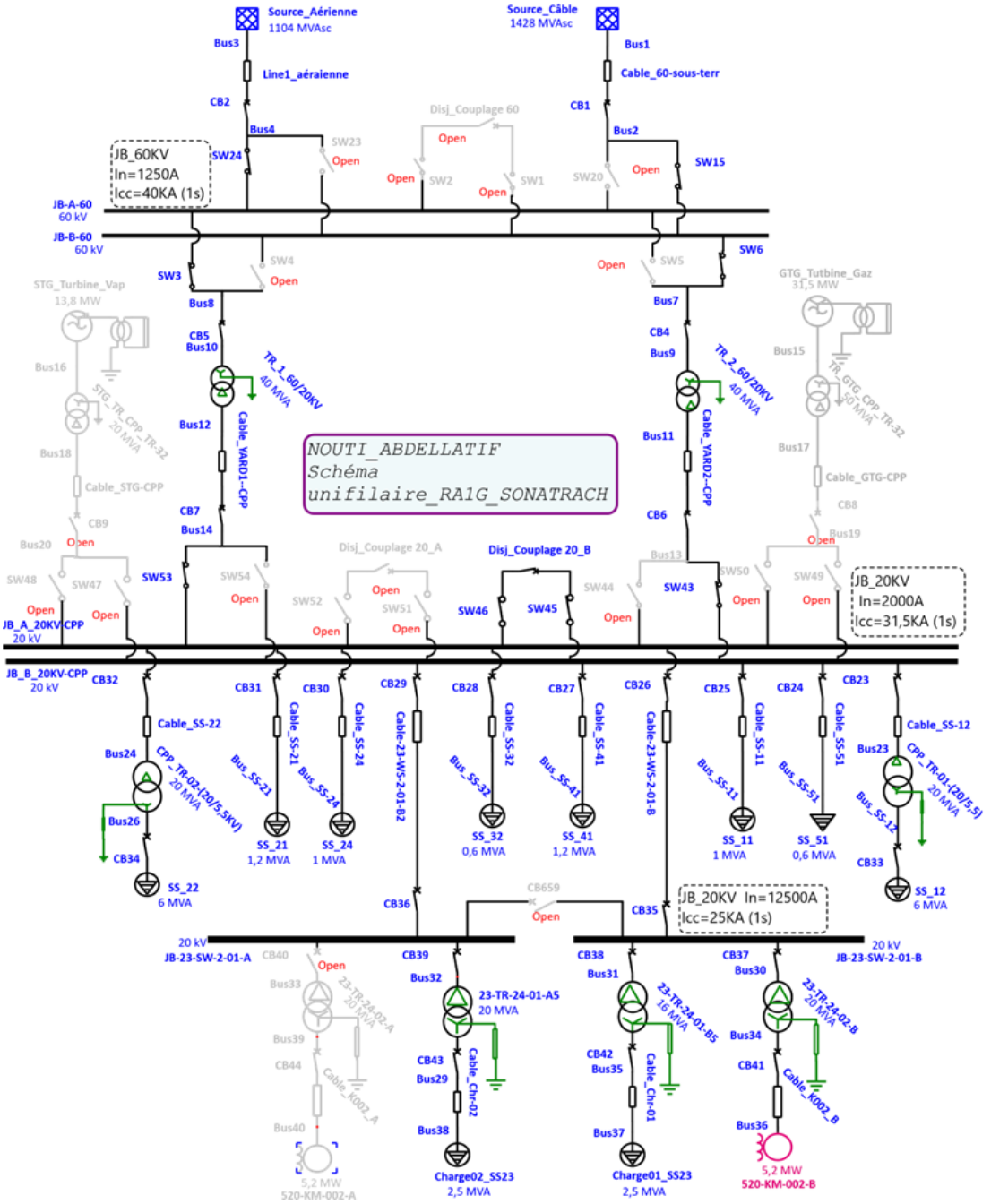


Figure 4.2: Configuration 01 : Alimentation par SONALGAZ

Les résultats obtenus après simulation sont données par les figures 4.3 et 4.4.

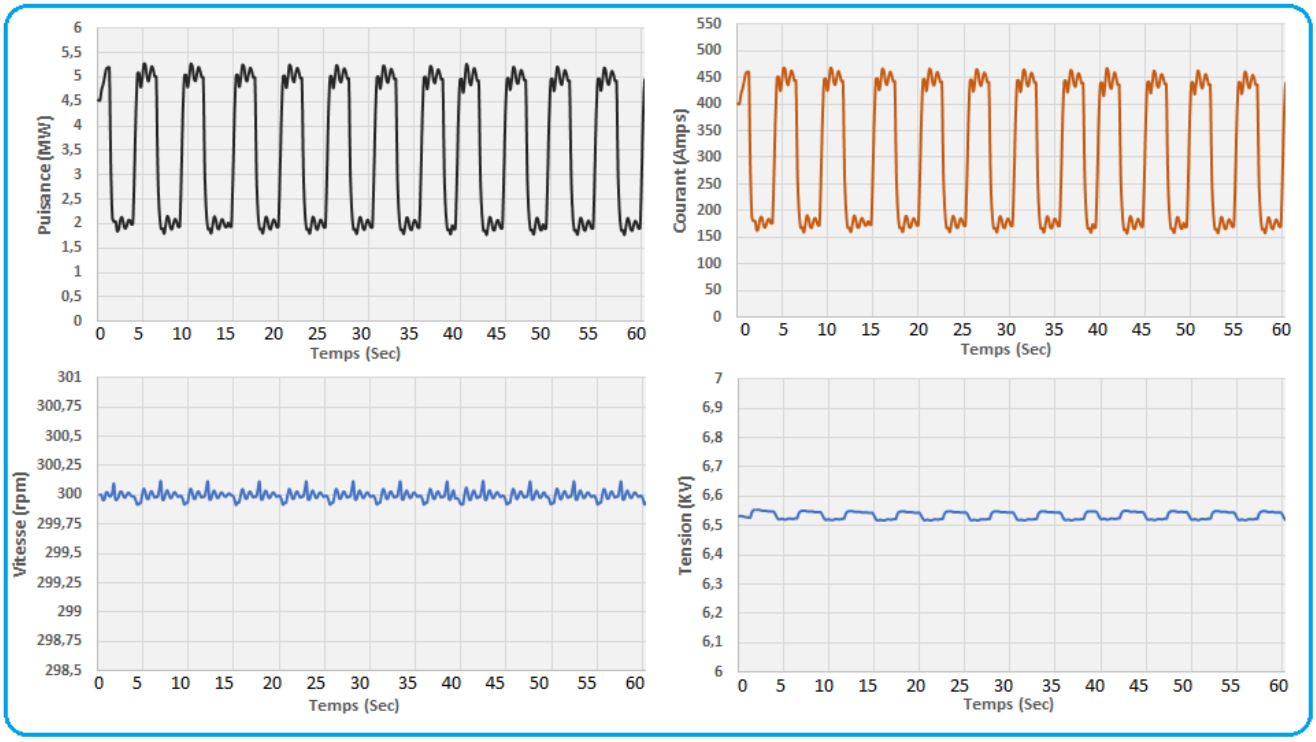


Figure 4.3: Courbes de la charge variable KM-002-B

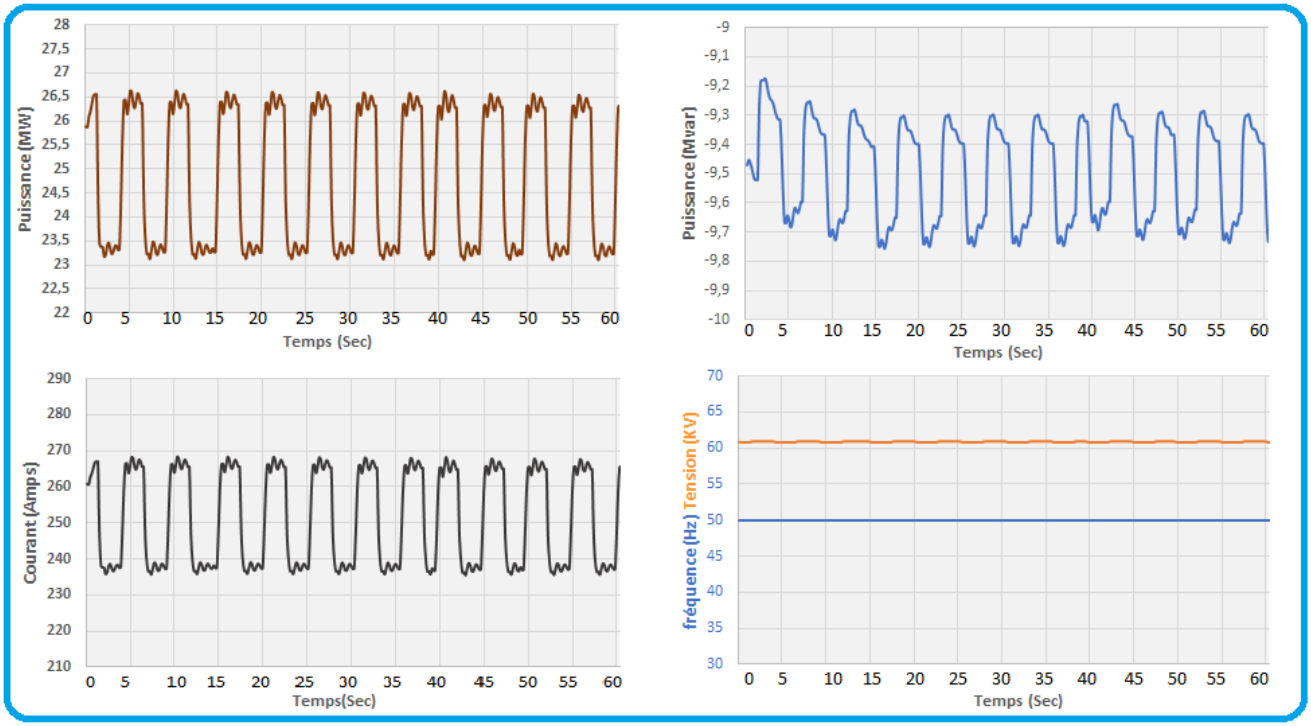


Figure 4.4: Comportement de l'arrivée SONELGAZ

D'après la figure 4.3, la variation de la puissance de la charge est comprise entre 1,9 MW et 5,2 MW. Cet intervalle présente des valeurs qui sont tolérables par rapport au mode de fonctionnement du moteur. En ce qui concerne la vitesse de rotation de la charge, nous remarquons qu'elle est pratiquement constante, avec une légère variation comprise entre 299,91 rpm et 300,11 rpm.

Cette configuration représentant l'alimentation de l'électricité à travers le réseau externe (SONELGAZ) est très fiable, et est caractérisée par une demande d'énergie plus régulière, sans aucune fluctuation notable ni ralentissement de la réponse du réseau.

À partir du comportement du réseau de la figure 4.4, il est clair que l'alimentation par le réseau externe offre la réponse la plus optimale du réseau face aux variations de charge provoquées par le moteur synchrone.

4.3.2 Configuration 02 : Alimentation mixte (SONELGAZ/GTG/STG)

Dans cette structure, nous intégrons les sources d'énergie internes au réseau électrique de l'usine, comme illustré dans la figure 4.5. Ensuite, nous allons étudier la réponse et le comportement du réseau aux variations de la demande d'énergie.

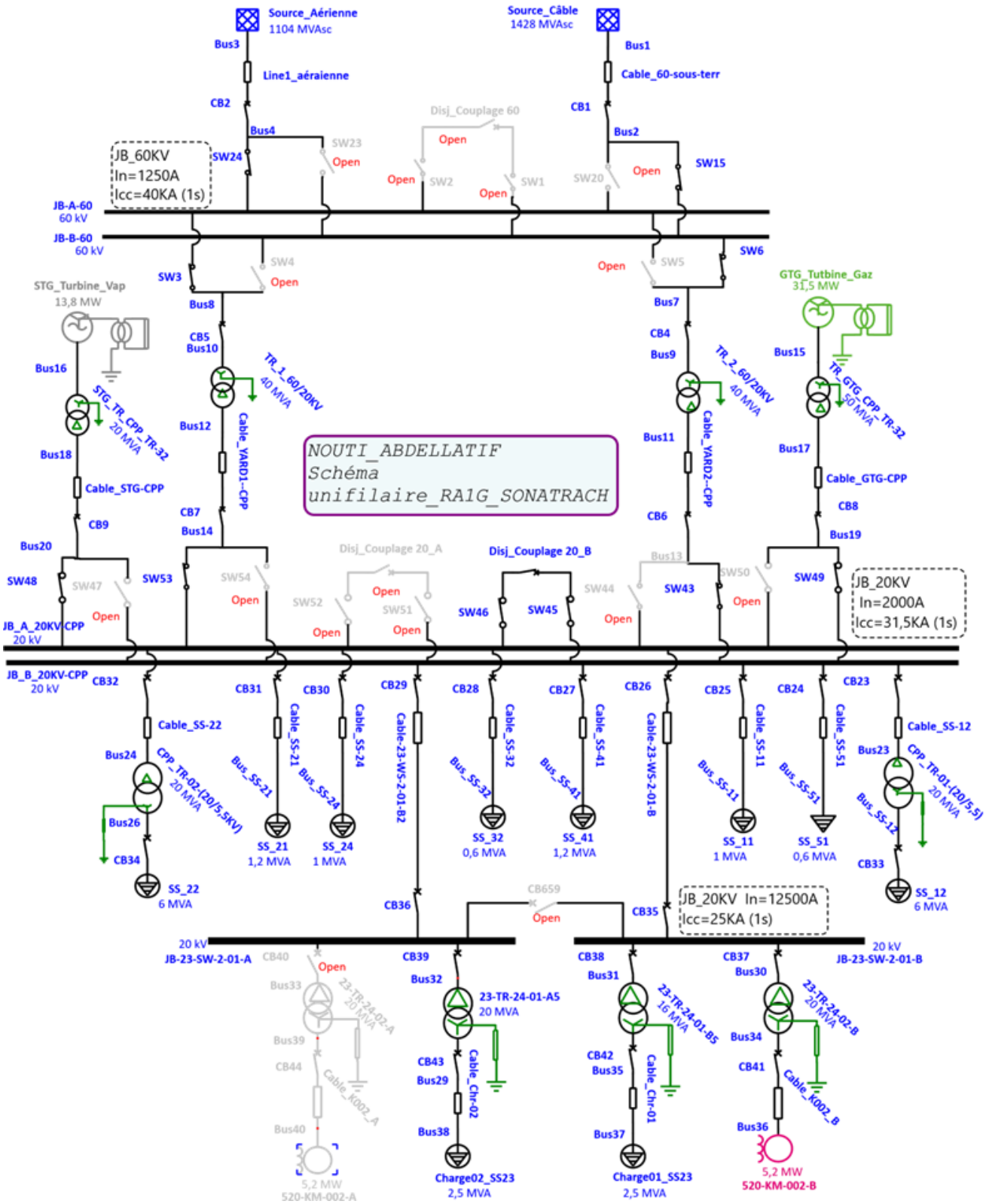


Figure 4.5: Configuration 02 : Alimentation mixte (SONELGAZ/GTG/STG)

Les résultats de la simulation du Moteur 520-K-002-B pour cette configuration mixte SONELGAZ/GTG/STG sont présentés dans la figure 4.6.

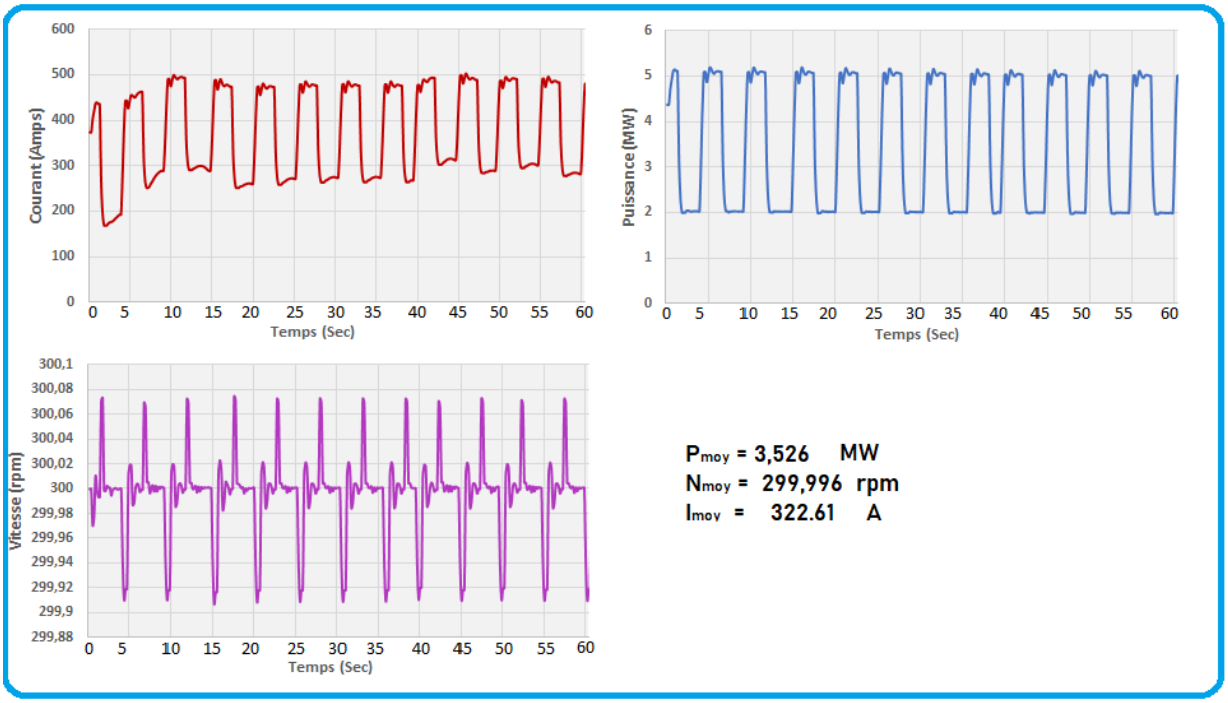


Figure 4.6: Courbes de la charge variable 520-KM-002-B

Dans la Figure 4.6, les données de charge à étudier sont présentées, avec l'axe des abscisses représentant le temps en secondes sur toutes les courbes, avec un temps de simulation d'une (01) minute, et l'axe des ordonnées qui présente les valeurs des mesures électriques telles que le courant, la puissance, et la vitesse de rotation de la charge.

On observe une variation de la puissance de 2 MW jusqu'à la puissance nominale de 5,2 MW, accompagnée d'une variation correspondante du courant dans des conditions similaires. En ce qui concerne la vitesse de rotation de la charge, on remarque une légère variation allant de 299.91 rpm à 300.07 rpm, qui est pratiquement négligeable.

À partir de ce scénario de charge, l'analyse de la réponse du réseau sera explorée, en mettant particulièrement l'accent sur les générateurs, comme présenté dans la figure 4.7 et 4.8.

Les résultats de la simulation pour les générateurs GTG,STG sont présentés dans les figures 4.7, et 4.8.

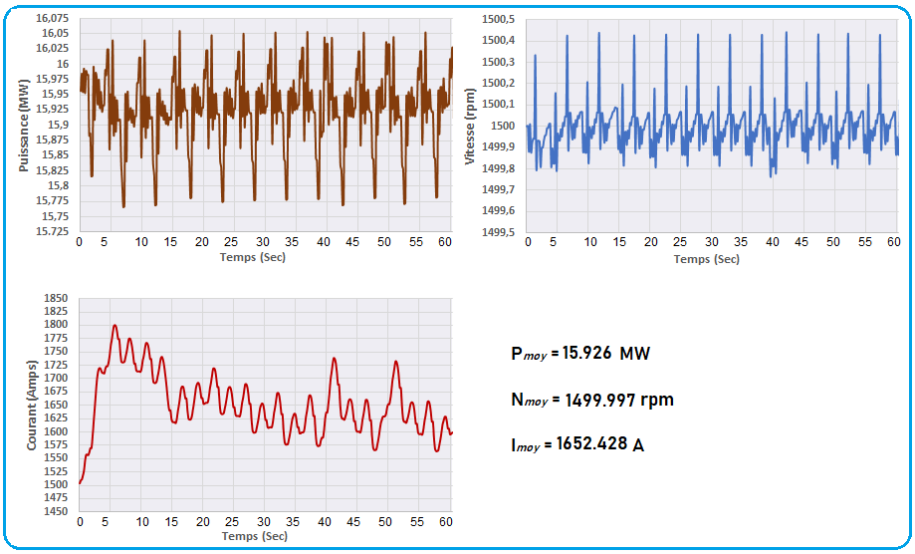


Figure 4.7: Comportement de d'alternateur GTG

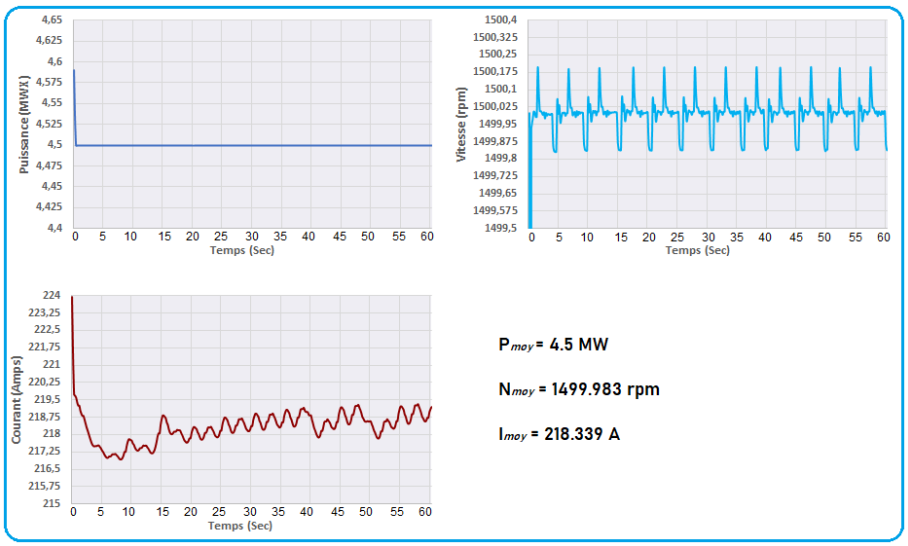


Figure 4.8: Comportement de d'alternateur STG

D'après la figure 4.7, qui concerne le générateur GTG, la variation de la vitesse de rotation est comprise entre 1499.76 rpm et 1500.47 rpm.
De même, on observe une variation de la puissance entre 15.77 MW et 16.06 MW, ce qui reste pratiquement tolérable par rapport à la puissance nominale du générateur et à son mode de fonctionnement.

Quant au générateur STG d'après la figure 4.8, sa puissance est fixée à 4.5 MW, et elle est principalement destinée à garantir la stabilité de la tension dans le réseau électrique de l'usine.

Les résultats de simulation en terme de fréquence pour cette configuration sont présentés par la figure 4.9.

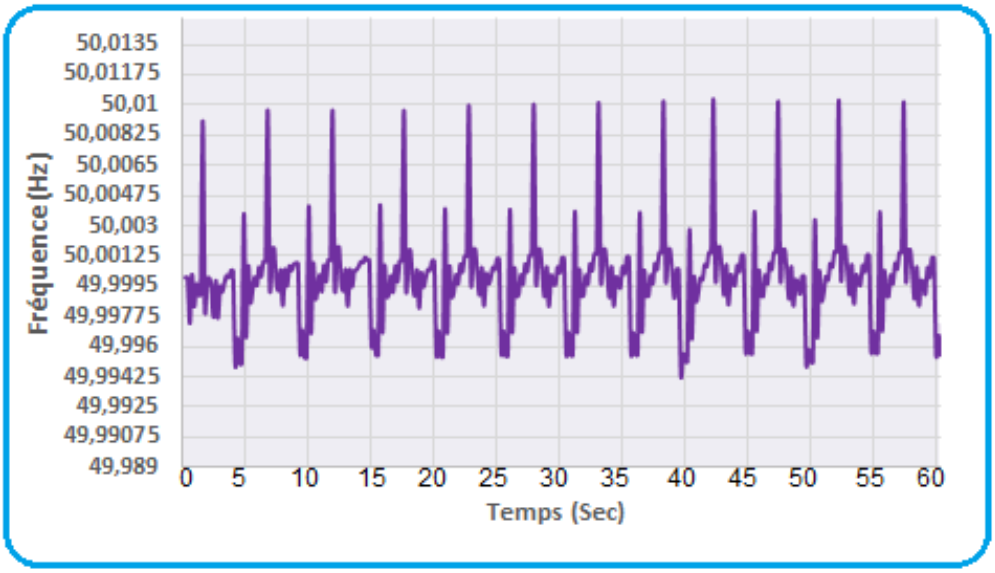


Figure 4.9: Fréquence sur le jeu de barre 20KV

La fréquence du réseau, comme illustré dans la figure 4.9, varie entre 49,99 Hz et 50,01 Hz. Cette fluctuation minimale est considérée comme acceptable, indiquant que le réseau est stable en termes de fréquence.

4.3.3 Configuration 03 : Alimentation Autonome

Dans cette configuration, nous avons deux sous-configurations. La première implique l'alimentation en utilisant les deux générateurs (GTG+STG) ensemble, tandis que la seconde utilise le générateur principal (GTG) seul.

4.3.3.1 Alimentation par GTG et STG

Comme le montre le schéma de la figure 4.10, nous décrivons la configuration autonome et électriquement indépendante de la source externe afin d'étudier et de comprendre la réponse du réseau électrique de l'usine aux fluctuations de puissance.

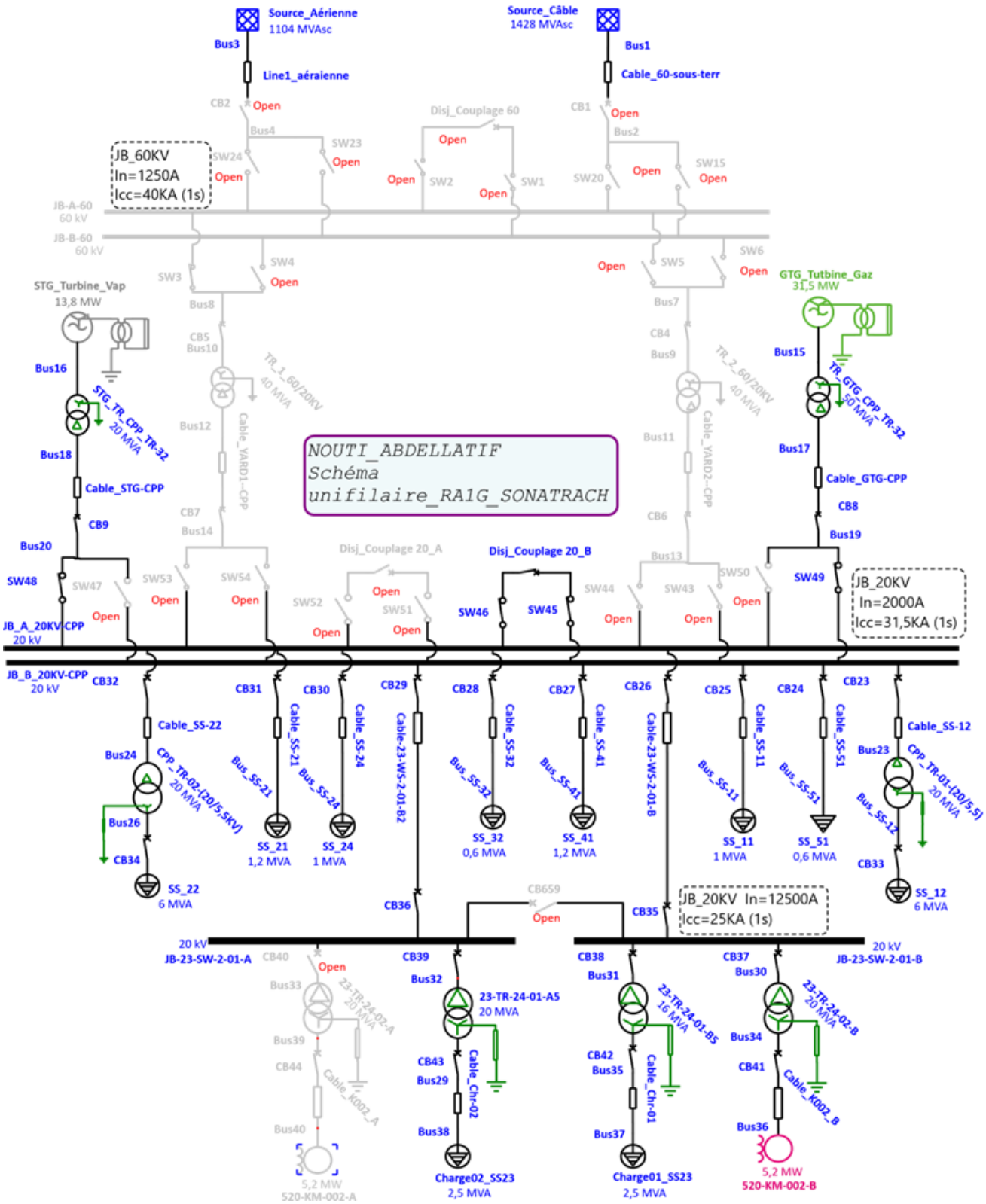


Figure 4.10: Configuration 03 : Alimentation par GTG et STG

Les résultats de simulation pour le moteur 520-K-002-B de la configuration GTG + STG autonome sont présentés sur la figure 4.11.

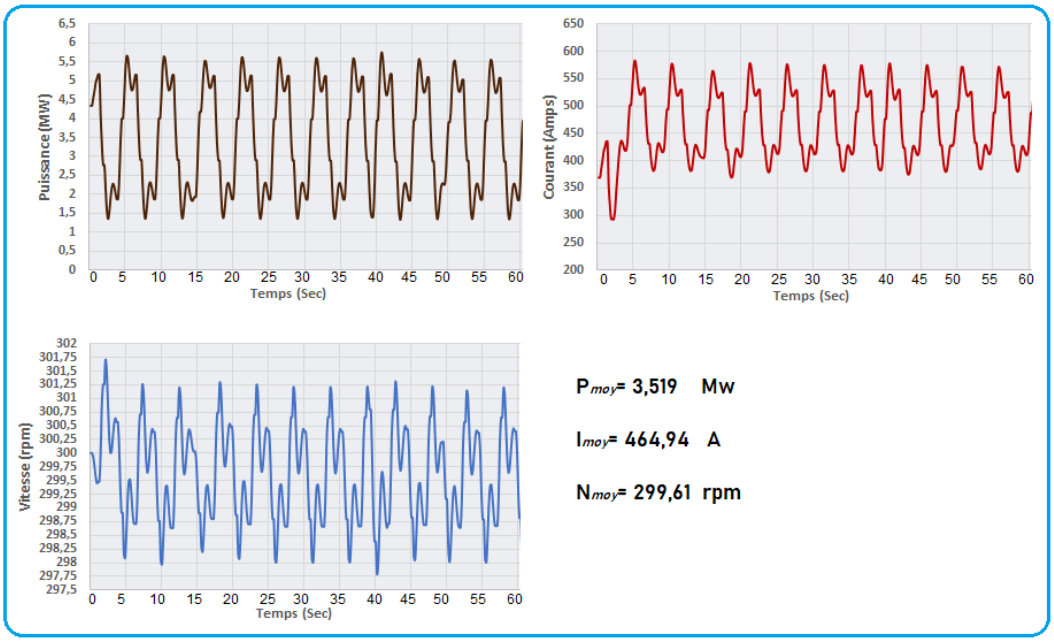


Figure 4.11: Courbe de la charge variable KM-002-B

Dans la Figure 4.11, on observe une variation de la puissance supérieure à la valeur nominale allant de 1.4 MW jusqu'à attendre la puissance nominale de 5,2 MW, accompagnée d'une variation correspondante du courant dans des conditions similaires. En ce qui concerne la vitesse de rotation de la charge, on remarque une légère variation allant de 299.88 rpm à 300.91 rpm, qui est pratiquement négligeable.

À partir de ce scénario de charge, l'analyse de la réponse du réseau sera explorée, en mettant particulièrement l'accent sur les générateurs. Les résultats de simulation pour ces générateurs de cette configuration GTG et STG autonome sont présentés sur les figures 4.12, et 4.13.

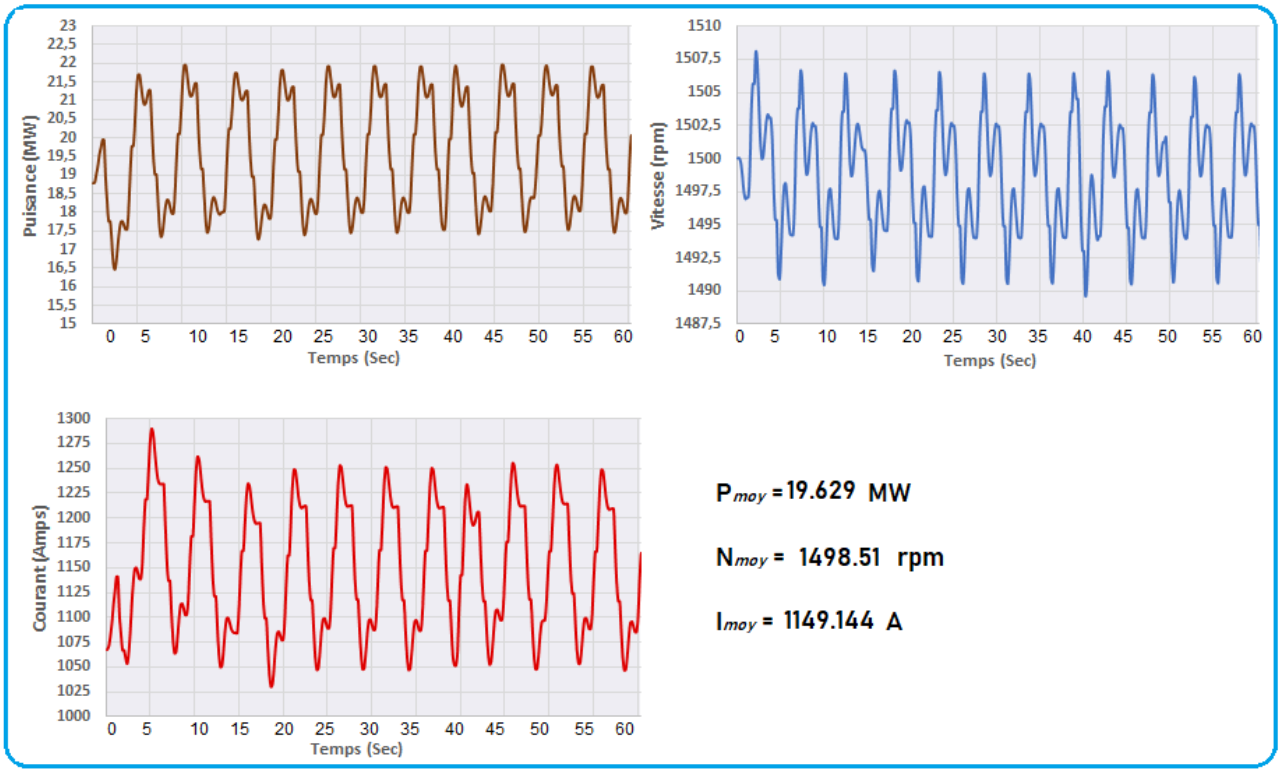


Figure 4.12: Impact de la variation du charge sur le générateur GTG

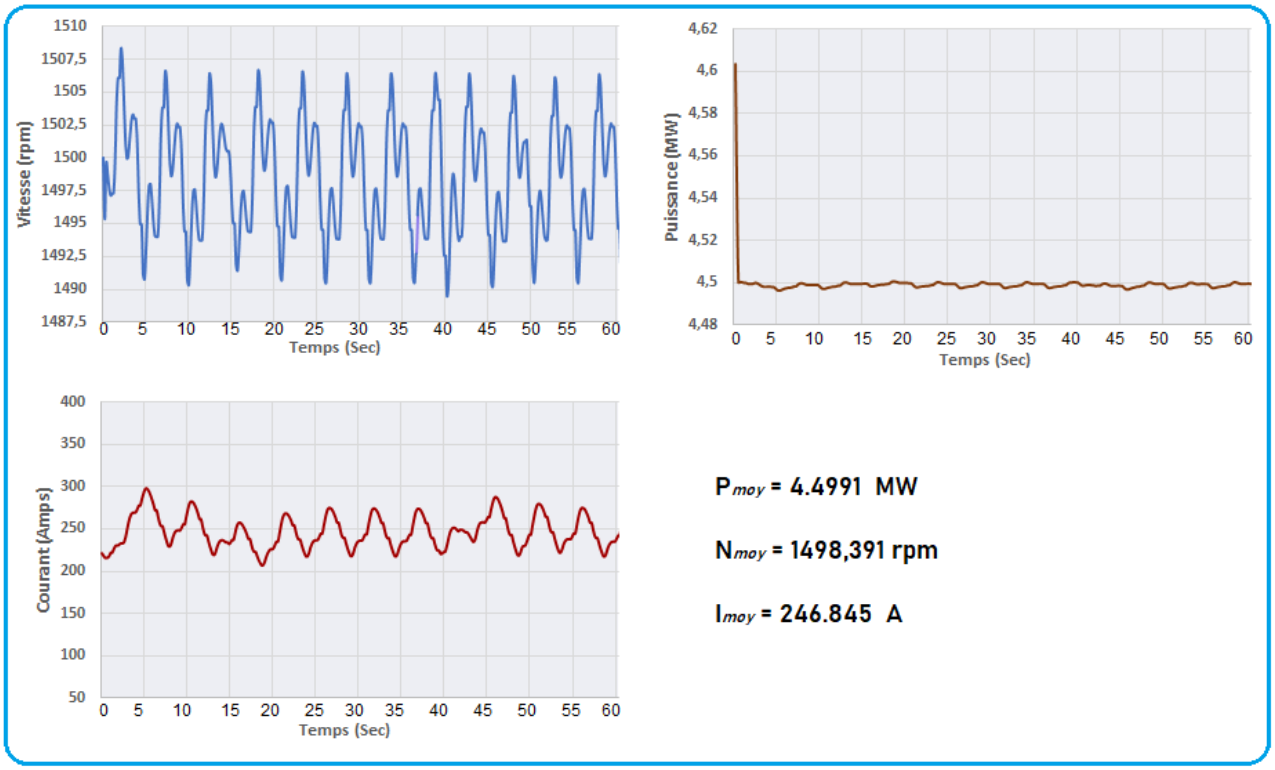


Figure 4.13: Impact de la variation du charge sur générateur STG

D'après la figure 4.12, en ce qui concerne le générateur GTG, la variation de la vitesse de rotation est comprise entre 1489.63 rpm et 1508.04 rpm.

De même, on observe une variation de la puissance entre 17.28 MW et 22 MW, ce qui reste pratiquement tolérable par rapport à la puissance nominale du générateur et à son mode de fonctionnement.

Quant au générateur STG, sa puissance est quasi constante à 4.5 MW, et elle est principalement destinée à garantir la stabilité de la tension dans le réseau électrique de l'usine comme le montre la figure 4.13.

La fréquence de réseau pour cette configuration est présentée dans la figure 4.14.

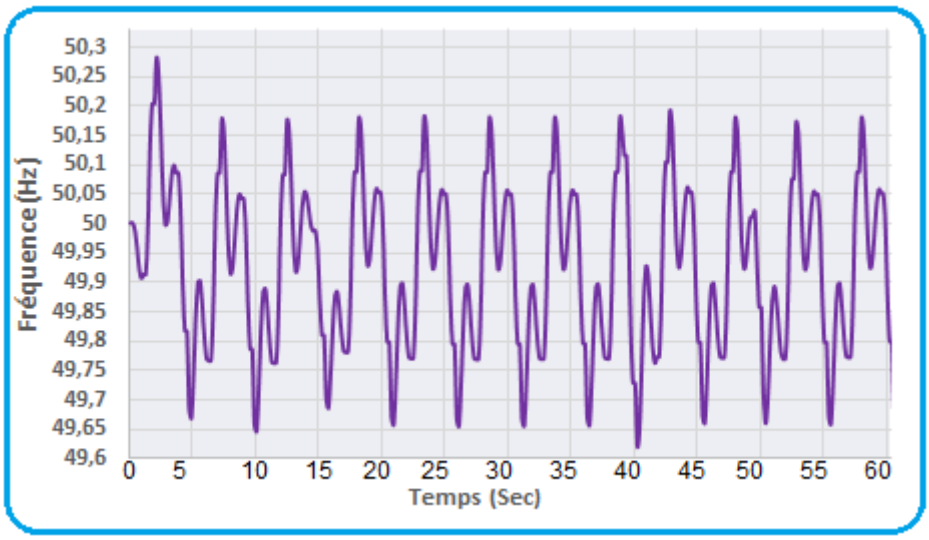


Figure 4.14: Fréquence sur le jeu de barre 20KV

D'après la Figure 4.14, on observe une fluctuation de la fréquence du réseau limitée entre 49,63 Hz et 50,22 Hz, soit une variation de -0,37 Hz et +0,22 Hz.
Cette fluctuation est considérée comme tout à fait acceptable, car elle ne dépasse pas le seuil de ±0,5 Hz recommandé dans la majorité des études sur la stabilité des réseaux [29].

4.3.3.2 Alimentation par GTG seul

Dans cette configuration, lorsque le générateur principal est capable de répondre à la demande de puissance de l'usine, nous décrivons la configuration du réseau avec une seule alimentation électrique provenant du générateur principale (GTG), comme le montre la figure 4.13.

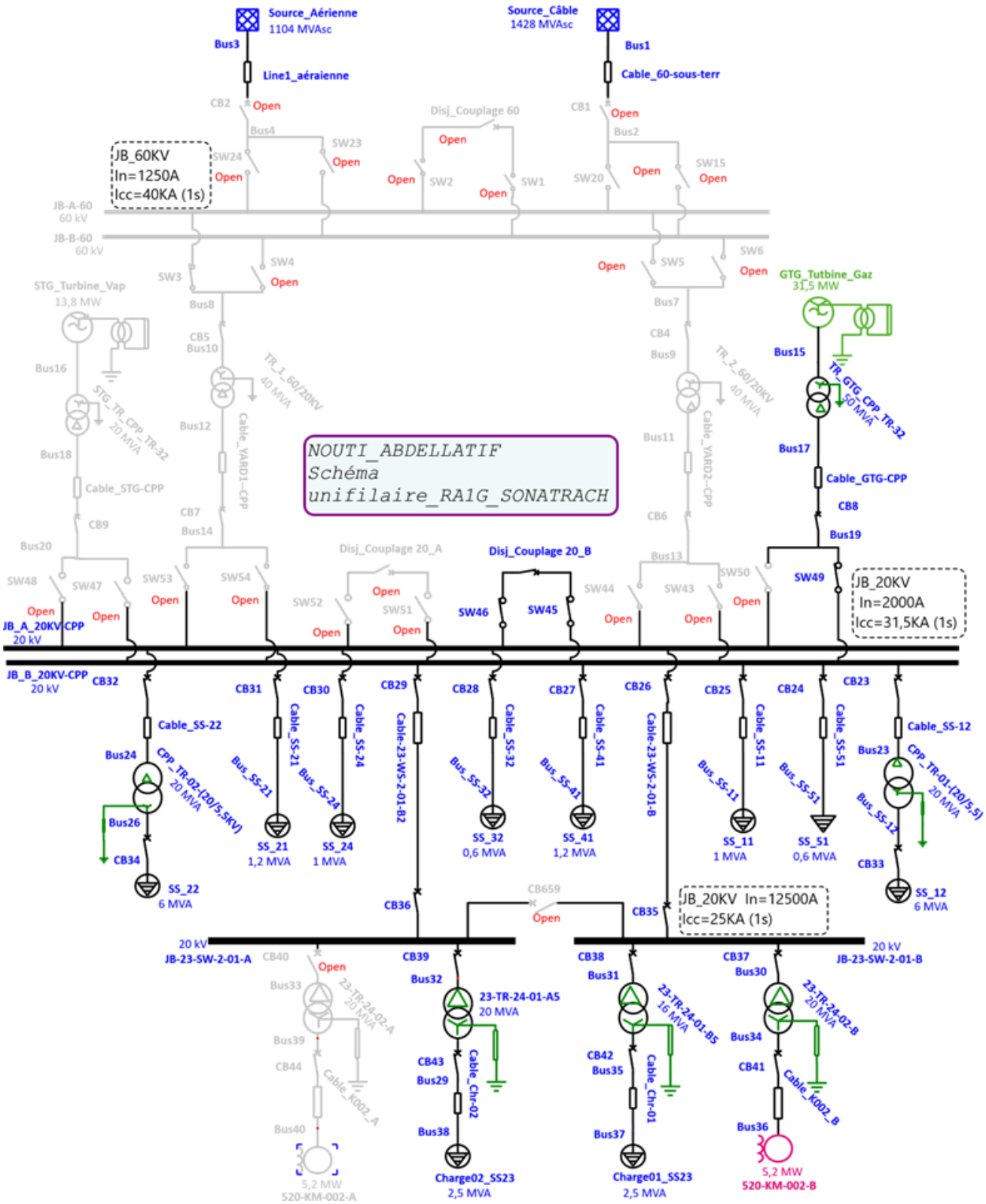


Figure 4.15: Configuration 03 : Alimentation GTG Seul

la figure 4.16 présente les résultats de la simulation pour le moteur 520-K002-B de la configuration autonome GTG seul.

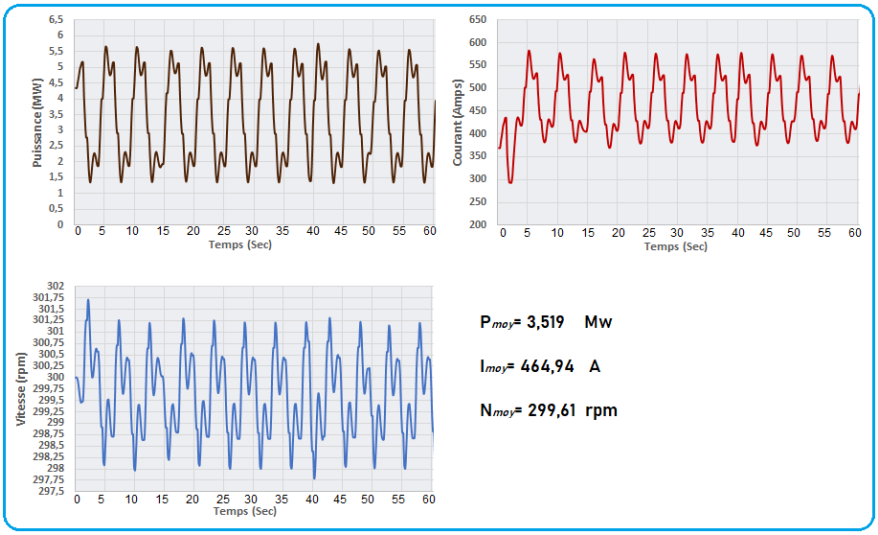


Figure 4.16: Courbe de la charge variable KM-002-B

D'après la figure 4.16, On observe presque le même constat avec la configuration précédente, une variation de la puissance supérieure à la valeur nominale de 1.4 MW à la puissance nominale de 5,5 MW, accompagnée d'une variation correspondante du courant dans des conditions similaires. En ce qui concerne la vitesse de rotation de la charge, on remarque une légère variation allant de 297.89 rpm à 301.3 rpm, qui est pratiquement négligeable.

À partir de ce scénario de charge, l'analyse de la réponse du réseau sera explorée, en mettant particulièrement l'accent sur les générateurs, comme présenté dans la figure 4.17.

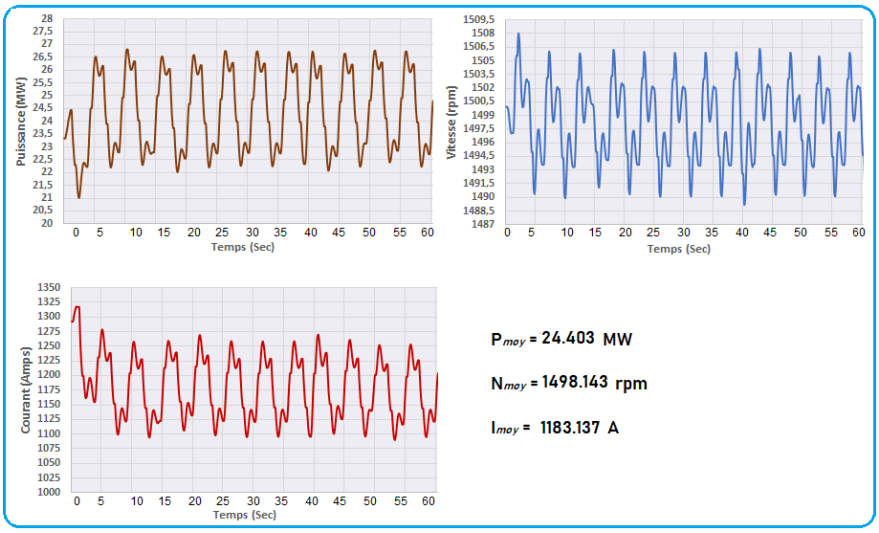


Figure 4.17: Impact de la variation du charge sur l'alternateur GTG

D'après la figure 4.17, en ce qui concerne le générateur GTG, la variation de la vitesse de rotation est comprise entre 1489.27 rpm et 1508.01 rpm.
De même, on observe une variation de la puissance entre 21 MW jusqu'à 26.8 MW. Celle-ci est considérée comme très proche de la valeur nominale du générateur. Cette augmentation de la puissance qui est proche du fonctionnement maximal du générateur a savoir 31.5 MW, peut provoquer des défauts de fonctionnement comme :

- Augmentation de chaleur : Le fonctionnement atteignant la puissance maximale augmente la production de chaleur, ce qui nécessite une gestion efficace du refroidissement.
- Surcharge sur les régulateurs : Les régulateurs de tension et de vitesse devront travailler intensivement pour stabiliser les paramètres du générateur, ce qui peut mettre à l'épreuve la capacité de ces systèmes à maintenir une performance optimale sous des charges élevées et variables.
- Vibrations : Les variations de la vitesse de rotation au rotor peuvent induire des vibrations supplémentaires, ce qui pourrait affecter la stabilité mécanique du générateur et nécessite des arrêts de maintenance plus fréquentes et non programmés.
- Déstabilisation de la fréquence : La variation notable de la vitesse de rotation peut affecter la stabilité de la fréquence du réseau, entraînant des fluctuations qui ne sont pas acceptables, ce qui provoque un impact négatif sur l'ensemble du réseau électrique.

La figure 4.18, représente la fréquence du réseau électrique de l'usine.

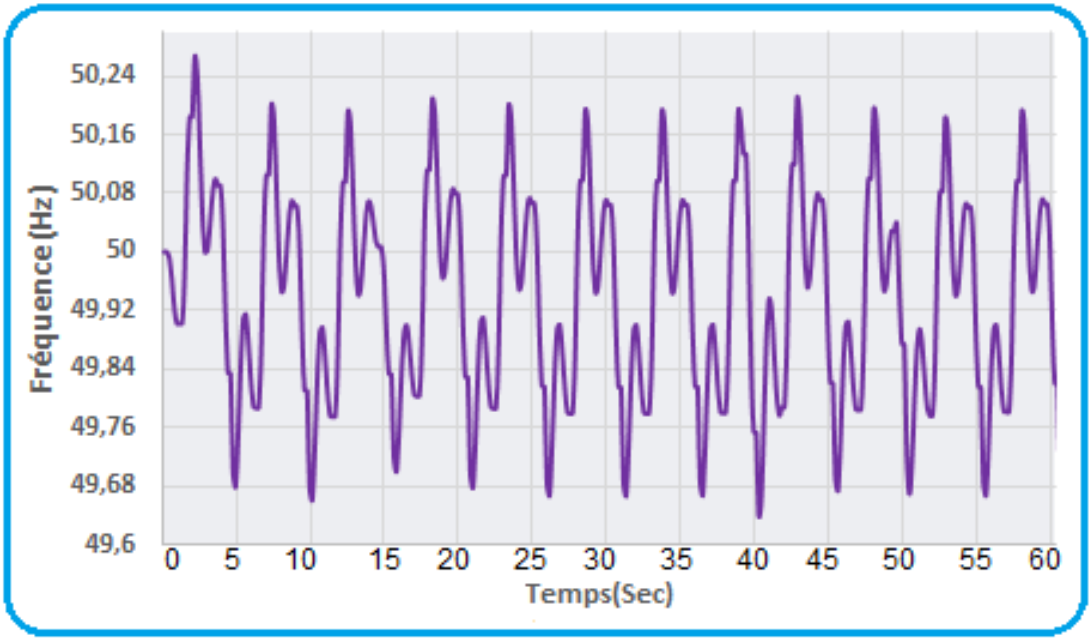


Figure 4.18: Fréquence sur le jeu de barre 20KV

Dans la figure 4.18, on remarque une fluctuation de la fréquence du réseau, qui est limitée entre 49,63 Hz et 50,22 Hz, soit une variation de -0,37 Hz et +0,22 Hz. Cette variation est considérée comme acceptable, car elle ne dépasse pas le seuil de ±0,5 Hz préconisé [29]. Cependant, la valeur minimale apparaît très proche du seuil de sécurité, ce qui n'est pas recommandé. Cette situation est due à la force et à la rapidité de réponse du générateur à la demande brusque et soudaine en énergie électrique des charges du réseau.

4.3.4 Récapitulatif des configurations

La figure 4.19 représente le comportement du GTG du point de vue vitesse pour les trois configurations : mixte, autonome (GTG-STG) et GTG seul.

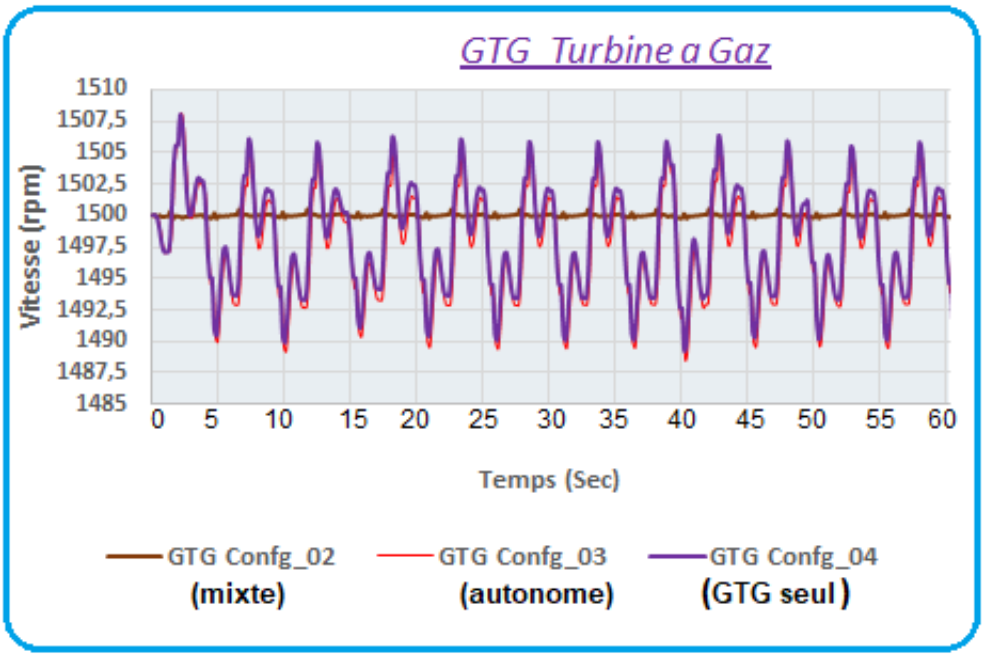


Figure 4.19: Impact sur le GTG pour les diffèrent configurations

Après avoir examiné toutes les possibilités et différentes conditions d'alimentation, nous avons constaté que le taux de fluctuation du réseau est plus important dans le cas de l'alimentation autonome. La vitesse de rotation du rotor du générateur GTG atteint une valeur de **1489.63 rpm** ce qui représente une diminution de **-0.70%** de la vitesse de rotation du rotor au générateur GTG, et une vitesse de rotation maximale d'une valeur de **1508.1 rpm** ce qui représente une augmentation de **0.54%**, tandis qu'il est considère instable dans le cas d'une alimentation mixte avec le réseau de SONELGAZ.

4.4 Comparaison entre la Simulation et le Fonctionnement Réel

4.4.1 Présentation de l'interface ECS

Le **S**ystème de **C**ontrôle **E**lectrique (ECS) est un ensemble de dispositifs et de logiciels intégrés conçus pour surveiller, contrôler et optimiser la gestion de l'énergie au sein d'une installation industrielle telle qu'une raffinerie. Il assure la surveillance en temps réel des paramètres électriques et énergétiques, tels que la tension, le courant, la fréquence et la puissance, tout en fournissant des fonctionnalités avancées telles que la détection des anomalies, la gestion des charges, la coordination des dispositifs de protection et la gestion des réseaux de distribution. En s'appuyant sur des capteurs, des actionneurs et des algorithmes de contrôle sophistiqués, le système ECS vise à garantir l'efficacité opérationnelle, la sécurité électrique et la stabilité du réseau électrique de la raffinerie comme le représente les figures 4.20, et 4.21.

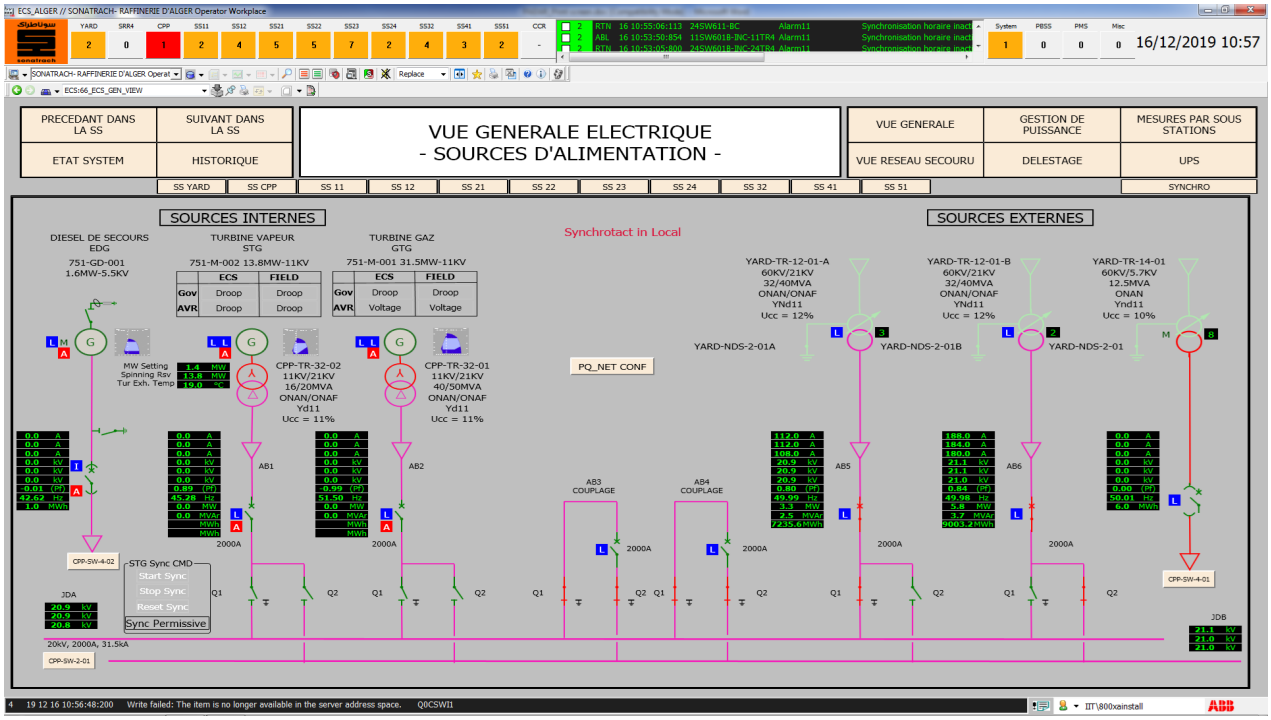


Figure 4.20: Vue générale des sources d'alimentation sur ECS

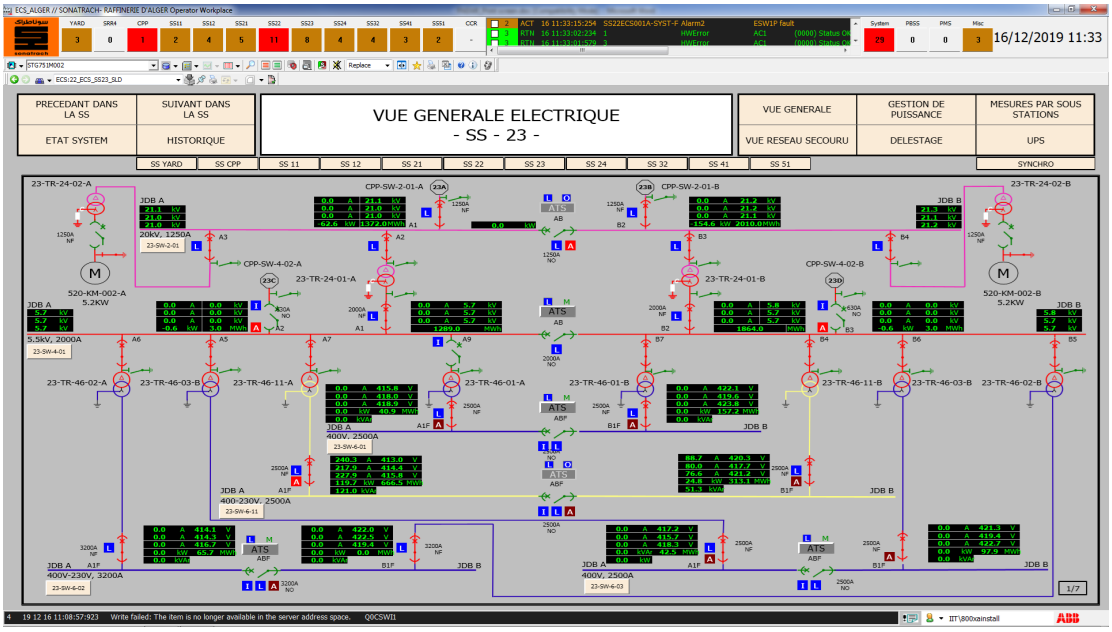


Figure 4.21: Vue générale de la sous-station SS-23 sur ECS

4.4.2 Résultats ECS du réseau réel de l'usine

La raffinerie fonctionne selon la configuration 02 (mixte). Dans cette structure la source interne (GTG,STG) est associée en même temps avec le réseau SONELGAZ.
Le réseau externe SONELGAZ est fixé à une puissance de 2 MW. Le générateur STG est doté d'une charge fixe, estimée à 4,5 MW, avec la possibilité d'ajuster, de surveiller la puissance réactive ainsi que la tension du réseau. Quant au générateur principal GTG, il prend en charge le reste de la charge et est connecté en permanence. au réseau externe.
Les données réelles de la charge présentant les variations de la vitesse et de la puissance du moteur 520-K-002-B sont présentées dans la figure 4.22

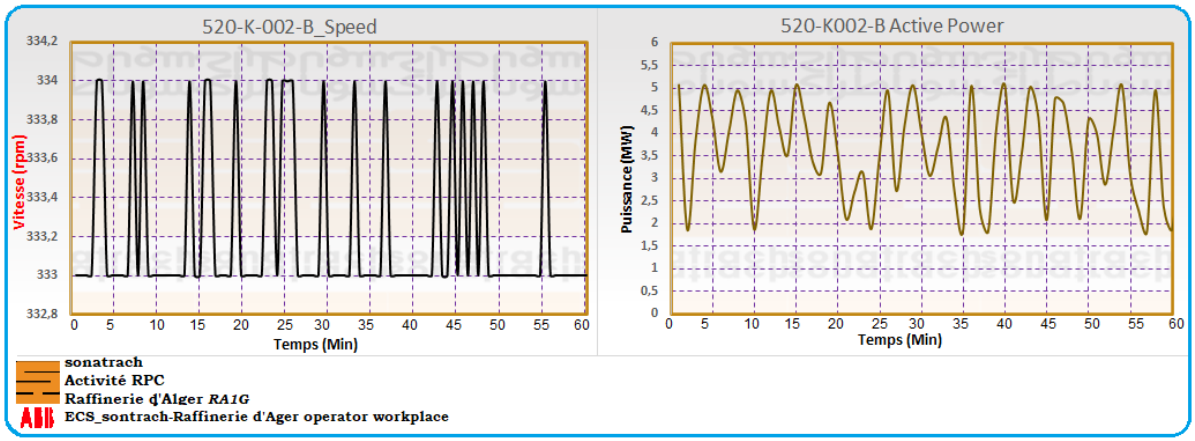


Figure 4.22: Comportement du Moteur 520-K-002-B

Nous remarquons sur les courbes de la figure 4.22 extraites du système de contrôle électrique de l'usine (ECS) que l'évolution de la demande de puissance du moteur varie de 1,8 MW à 5,2 MW, comme nous l'avons observé lors de la simulation précédente. De plus, la vitesse de rotation fluctue de 333 rpm jusqu'à 334 rpm en fonction des cycles du compresseur.

la figure 4.23 présent les données réelle pour le comportement de la GTG.

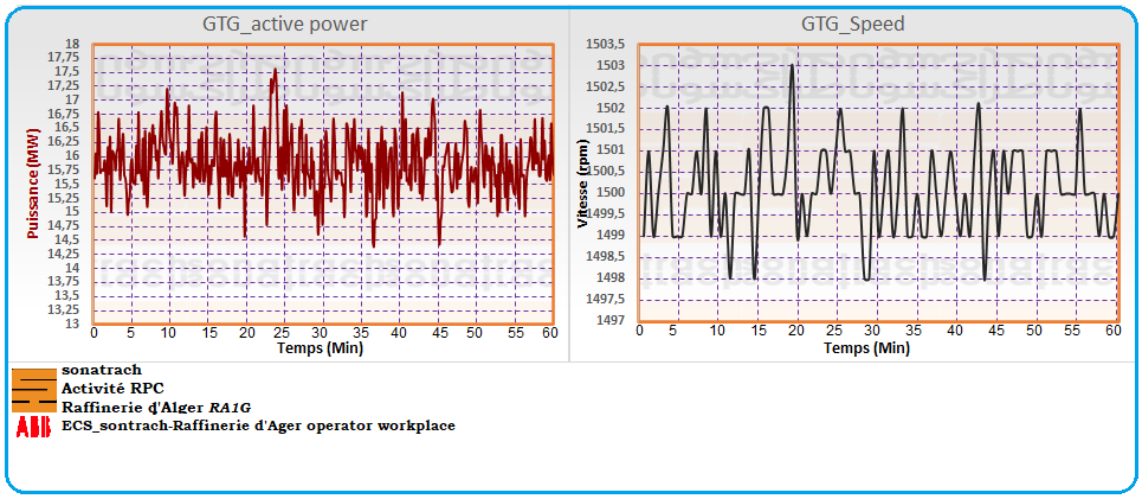


Figure 4.23: Comportement de l'alternateur GTG

A partir de la figure 4.23, les deux graphes montrent une corrélation entre les variations de puissance et les fluctuations de la vitesse de rotation. Lorsque la puissance augmente, il y a généralement une tendance à l'augmentation de la vitesse de rotation, et vice versa.

Le comportement de la STG est présentée dans la figure 4.24.

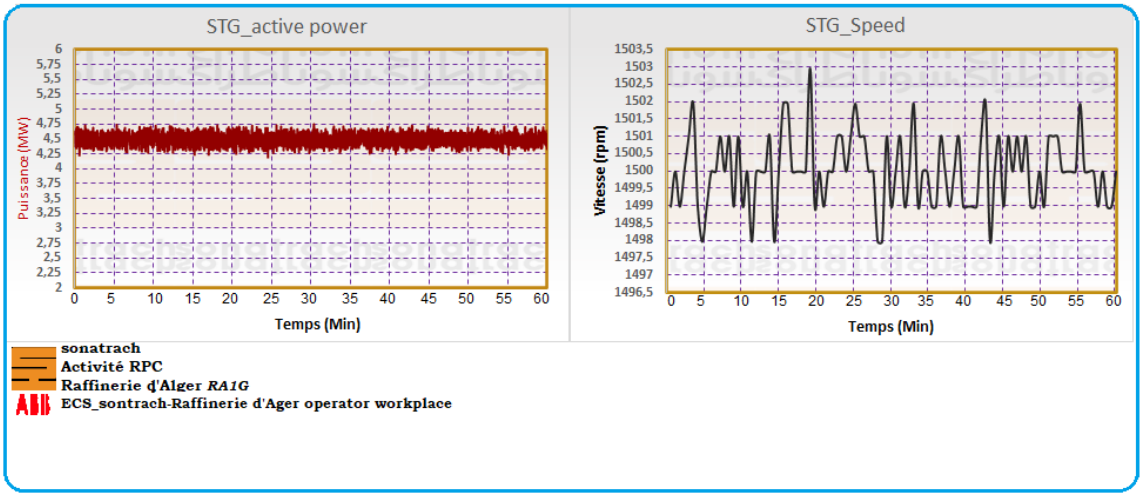


Figure 4.24: Comportement de l'alternateur STG

La figure 4.24 montre les courbes de puissance et de vitesse de rotation de générateur de vapeur (STG) utilisé pour contribuer à la stabilisation du réseau électrique. Ce générateur joue un rôle essentiel dans la surveillance et l'ajustement de la tension électrique ainsi que dans la production de la puissance réactive nécessaire.

Dans ce cas, le générateur fonctionne à une puissance fixe de 4,5 MW (±0.25 MW) et contrôle la tension du réseau de l'usine. Pendant ce temps, la vitesse de rotation du rotor reste relativement constante (±2 rpm) reflétant la stabilité mécanique et électrique importante pour le bon fonctionnement du réseau.

La figure 4.25 montre la variation des fréquences et ses évolutions dans le réseau interne de la RA1G.

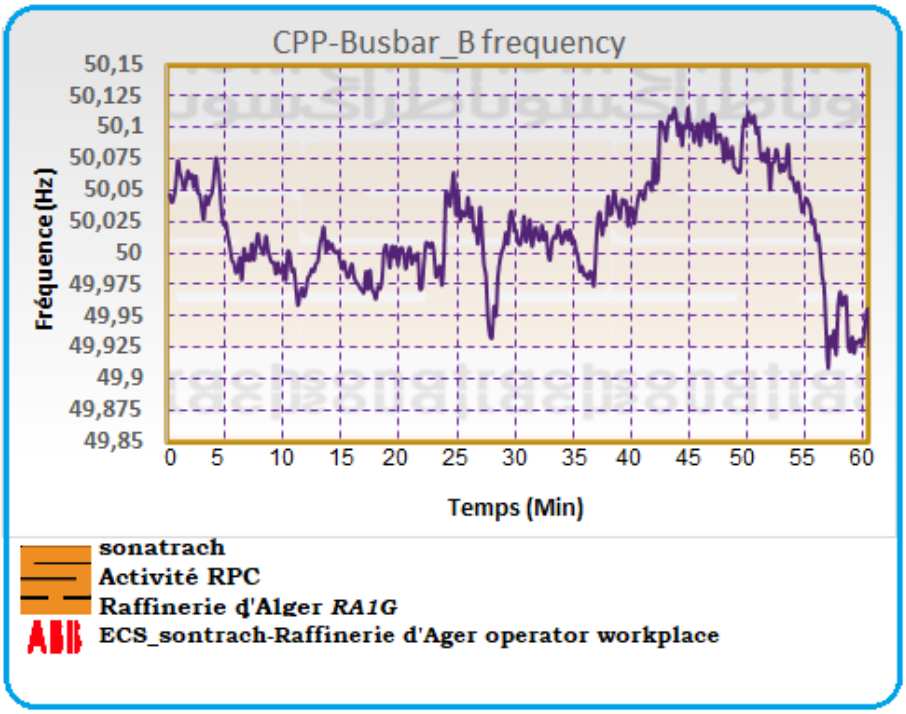


Figure 4.25: La fréquence au JB 20KV

A travers la figure 4.25, nous remarquons des fluctuations de fréquence au sein du réseau, même si elles se situent dans des limites raisonnables, puisque ses changements sont limités à $\pm 0,1$ Hz.

4.4.3 Comparaison entre les résultats de la simulation *ETAP* et les données du réseau réel

Pour tester la validité du modèle, il est essentiel de comparer les résultats de la simulation avec les résultats réels obtenus dans l'usine. Nous présenterons par la suite une comparaison détaillée basée essentiellement sur les puissances les vitrasses de rotation, et la fréquence du réseau électrique interne de l'usine.

4.4.3.1 Puissances :

La figure 4.26 montre la comparaison des puissances mesurées et simulées pour le réseau de la Raffinerie d'Alger.

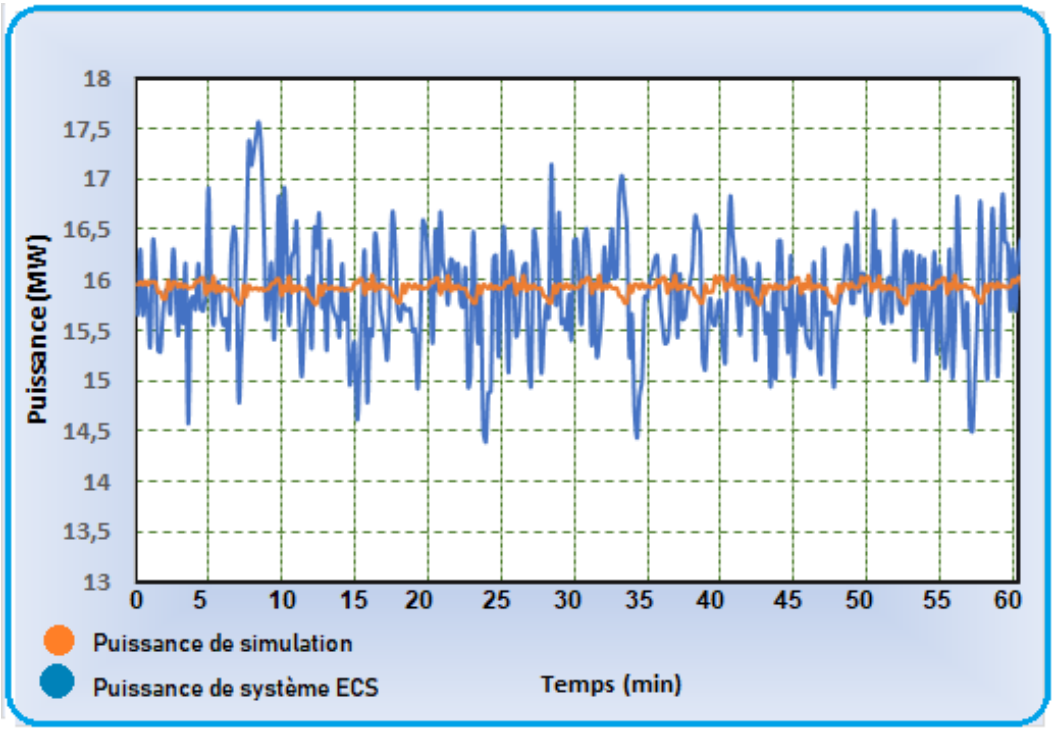


Figure 4.26: Comparaison des puissances

D'après la figure 4.26, on observe que les puissances simulées suivent de près les tendances des puissances mesurées, avec quelques écarts mineurs. Cela indique que le modèle de simulation est globalement précis, mais que des ajustements peuvent être nécessaires pour améliorer encore la concordance.

4.4.3.2 Vitesse de Rotation :

Les résultats de simulation et ceux du réseau réel pour la vitesse de rotation sont donnés dans la figure 4.27.

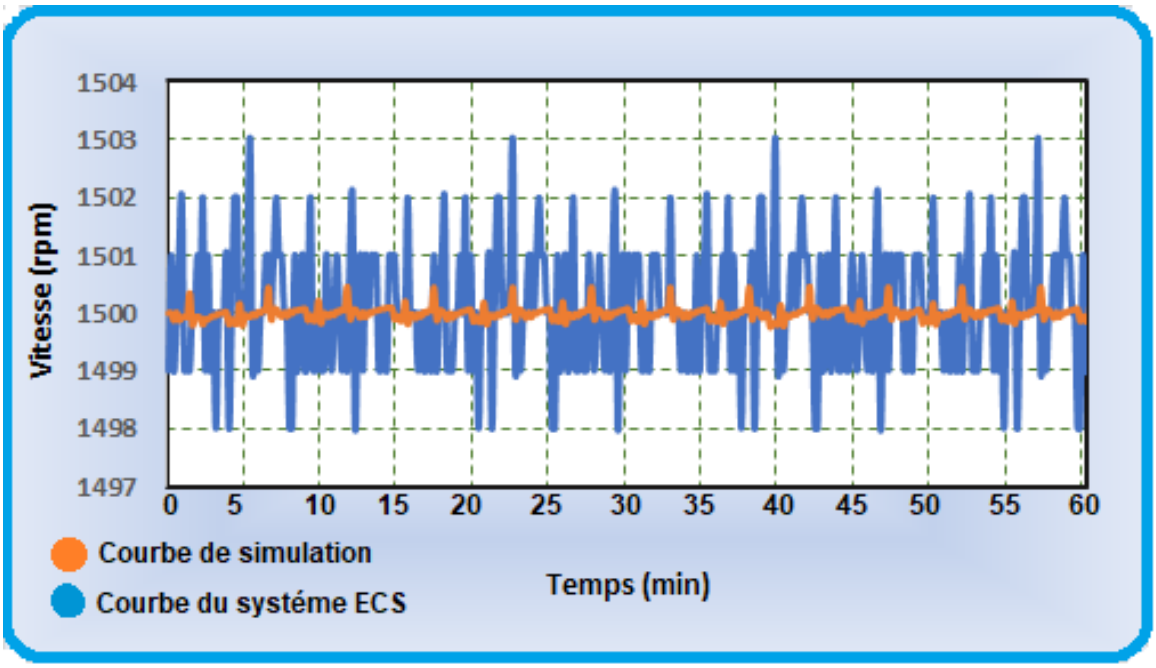


Figure 4.27: Comparaison des vitesses de rotation

D'après la figure 4.27, une bonne concordance entre les données simulées et réelles a été remarquée.

Les écarts observés sont généralement faibles, ce qui suggère que la modélisation dynamique du générateur dans ETAP est fiable.

Les variations de vitesse reflètent bien les réponses attendues aux fluctuations de charge dans le réseau.

4.4.3.3 Fréquence du Réseau :

La figure 4.28 présente les résultats réels et de simulation pour la fréquence du réseau.

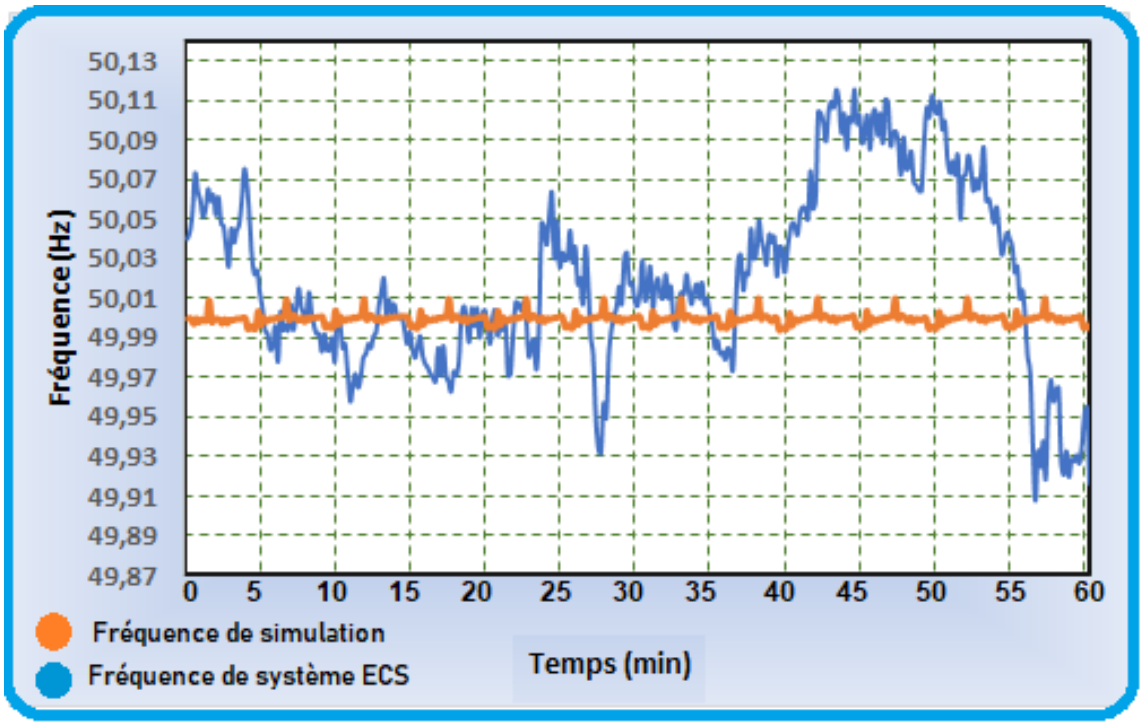


Figure 4.28: Comparaison des fréquences

La comparaison des fréquences montre une corrélation étroite entre les valeurs simulées et mesurées.

Les fréquences simulées restent dans les mêmes plages que les fréquences réelles, ce qui est crucial pour la stabilité du réseau.

Les écarts mineurs indiquent que le modèle de simulation reproduit correctement les dynamiques de fréquence, bien que des ajustements puissent être faits pour une précision accrue dans certaines conditions opérationnelles.

4.5 Nouveau paramétrage de la simulation

Dans le but de donner une image réel des grandeurs électrique de puissance, de vitesse, et de fréquence, la configuration 02 mixte présentée précédemment dans la section 4.3.2 est modifiée de telle sorte que la puissance du réseau externe SONELGAZ est limitée à 2 MW selon la figure 4.29.

La figure 4.29 représente la reconfiguration du deuxième sénarion d'alimentation électrique de l'usine.

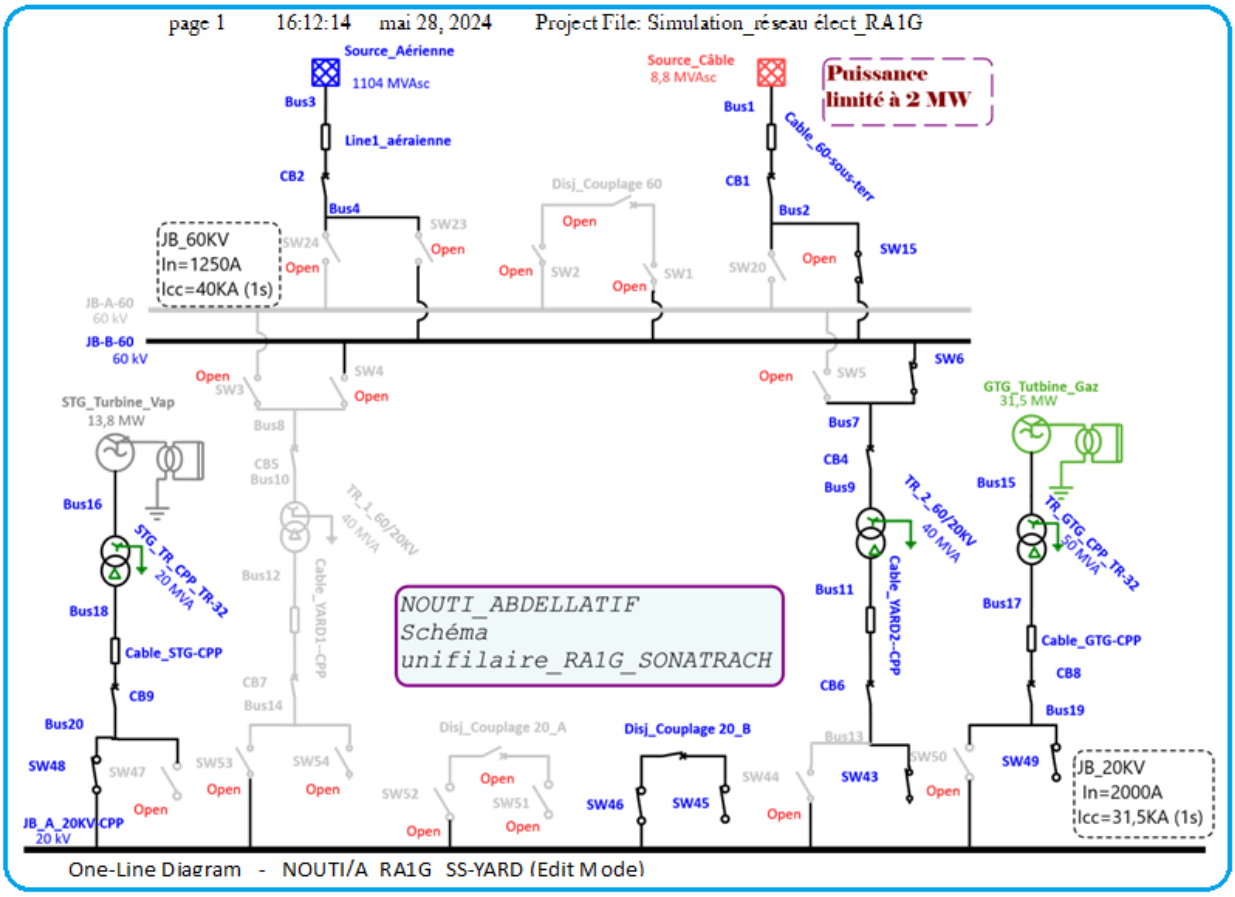


Figure 4.29: Schéma de la nouvelle configuration 02 mixte

La figure 4.30, présente une comparaison entre les courbes de puissance du générateur GTG pour différentes configurations réel (ECS), mixte (simulation 01) et la nouvelle mixte (simulation 02).

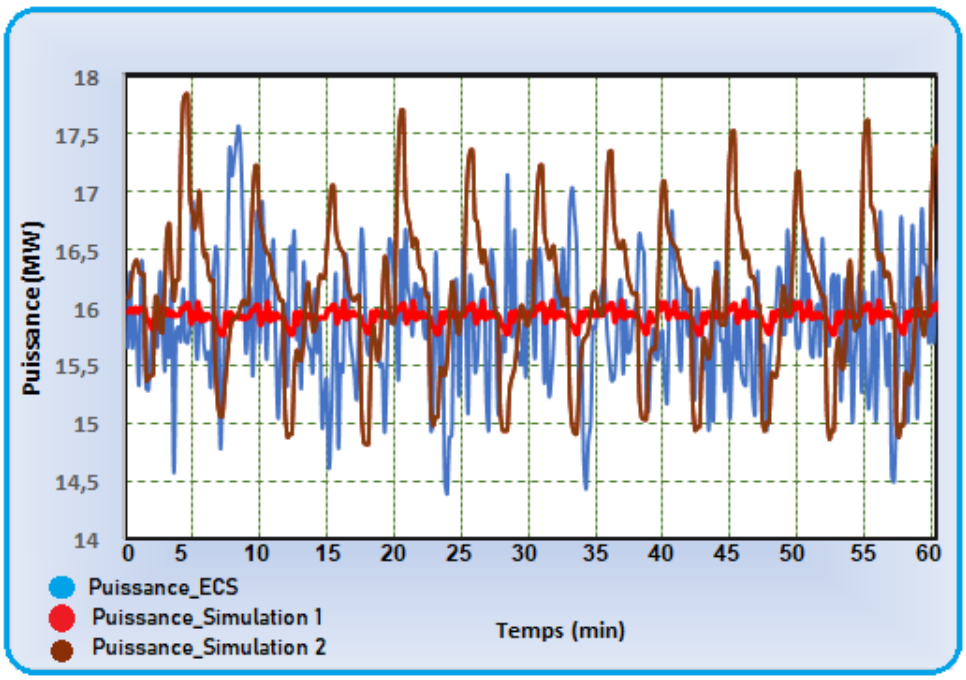


Figure 4.30: Comparaison des fréquences

D'après la figure 4.30, il est évident que la configuration mixte (simulation 01) avec un réseau externe illimité est la plus stable et efficace. on observe un écart de $\pm 1,5$ MW entre la courbe représentant la puissance réelle et celle issue de la simulation illimitée. Dans cette simulation, la puissance se stabilise autour de 16 MW, tandis qu'en réalité, elle varie entre 14,5 et 17,5 MW.

La figure 4.31, présente une comparaison de la vitesse de rotation du rotor au niveau du générateur entre les résultats réels et les résultats de simulation dans toutes les conditions précédemment étudiées.

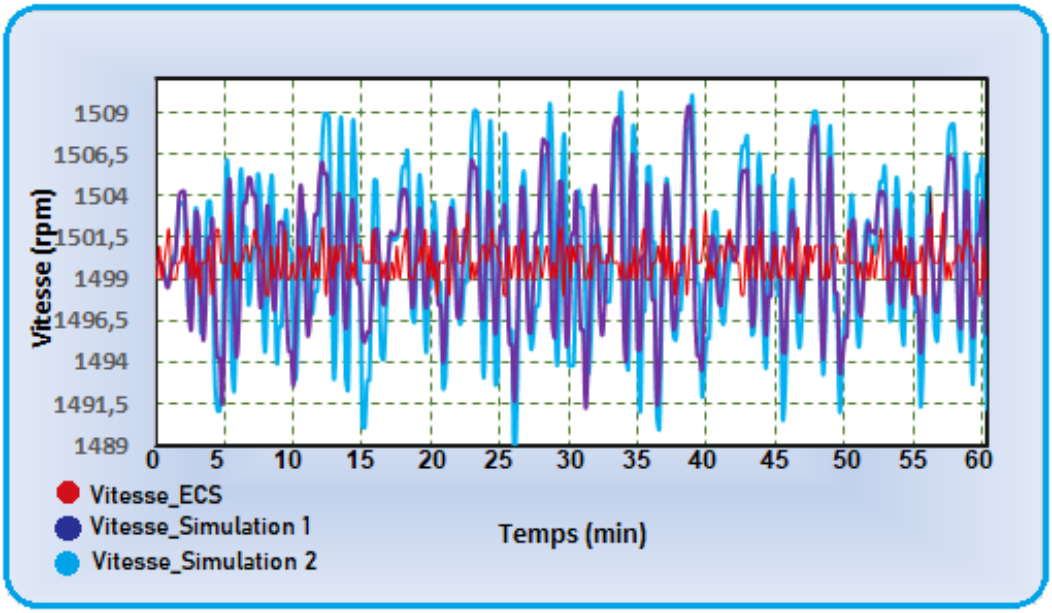


Figure 4.31: Comparaison des vitesses de rotation

On note que la configuration mixte avec une source d'alimentation externe non limitée (simulation 01) est plus stable en termes de variation de vitesse de rotation. En effet, l'évolution en configuration limitée est estimée à ±10 tours par minute (rpm), tandis qu'en cas d'alimentation illimitée, la vitesse est pratiquement constante au niveau du générateur GTG.

La figure 4.32, présente une comparaison de la fréquence du réseau pour les trois cas.

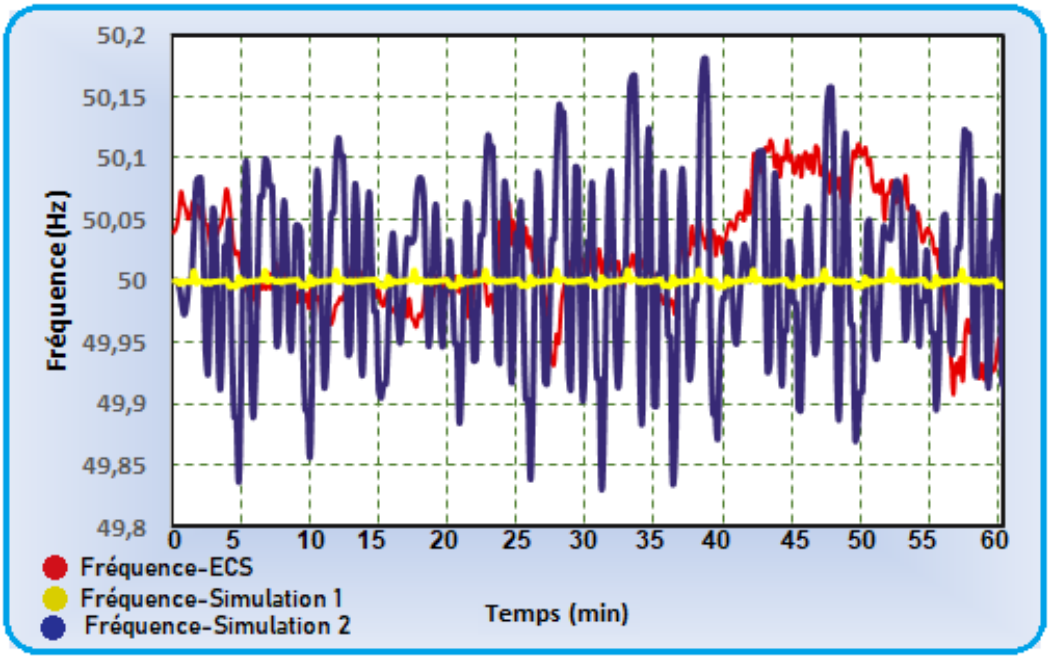


Figure 4.32: Comparaison des fréquences

Sur la figure 4.32, nous remarquons un écart notable par rapport à la stabilité de la fréquence. La variation de la fréquence dans le cas de la configuration mixte (simulation 01) avec une source externe non limitée est négligeable, ce qui présente un réseau stable. par contre dans le cas réel, la fréquence varie entre -0,1 et +0,1 Hz.

4.6 Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre la simulation des modes de fonctionnement du réseau électrique de la Raffinerie d'Alger, en mettant en lumière l'impact de la variation de charge représentée par le moteur synchrone 520-k-002-B et ses effets sur ce réseau dans différents scénarios et modes d'alimentation électrique de l'usine.

Nous avons également identifié un petit écart entre les résultats de simulation et les résultats réels, ce que nous a amené à reconfigurer les paramètres de la simulation, ce qui nous a permis d'avoir des résultats satisfaisants.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail entrepris dans cette thèse se concentre sur l'étude de l'impact de la variation de charge sur le réseau électrique industriel, plus spécifiquement sur le réseau interne de la Raffinerie d'Alger, composante cruciale de l'infrastructure énergétique du paye.

Nous avons identifié et analysé les défis de la variation de charge d'un moteur synchrone important aux perturbations de puissance, de fréquence et de vitesse de rotation au niveau du générateur à gaz (GTG).

La simulation du réseau électrique interne sous le logiciel ETAP nous a permis d'etudier le comportement du réseau aux différentes configurations et scénarios de variation de charge :

- ▷ Configuration 01 : Alimentation par le réseau électrique SONELGAZ, où toutes les sources internes sont mises hors service.

- ▷ Configuration 02 : Alimentation mixte c'est a dire les ressources internes (GTG,STG) sont couplées et synchronisées avec le réseau électrique externe SONELGAZ .

- ▷ Configuration 03 : Alimentation autonome, c'est a dire l'alimentation en énergie électrique se fait par les ressource internes de la RA1G telles que les deux générateurs (GTG,STG).

Les résultats ont révélé que le réseau électrique interne de la raffinerie est sensible aux fluctuations de charge, notamment celles induites par le moteur 520-K002-B. Ces variations inattendues de la puissance absorbée par la charge ont entraîné des fluctuations significatives dans la puissance produite par le générateur GTG, ainsi que des variations de la vitesse de rotation du rotor et de la fréquence du réseau électrique.

Les simulations ont montré que la configuration mixte avec une source d'alimentation

externe illimitée est la plus stable et efficace.

Après cette étude, et dans le but de permettre au générateur GTG de fonctionner dans des conductions confortable et non critiques, plus d'autonomie peut être donner au réseau externe, ce qui peut permettre de diminuer les problèmes mécaniques observés dans le fonctionnement de la GTG.

Les recommandations formulées dans cette étude visent à améliorer la fiabilité du réseau électrique de la Raffinerie d'Alger. Des stratégies telles que la configuration mixte avec plus d'autonomie dans la source externe en puissance peuvent atténuer significativement les effets négatifs de la variation de charge, augmentant ainsi la durée de vie des générateurs internes, en particulier le générateur principal (GTG).

Bibliographie

[1] Sonatrach. Company overview. https://www.sonatrach.com. [Online ; accessed May 21, 2024].

[2] Membres de l'Assemblée Générale de Sonatrach. *Rapport Annuel de Sonatrach en 2022*. commissaire au compt Sonatrach, 2022.

[3] GlobalData. Algeria refining industry outlook. https://www.globaldata.com/store/report/algeria-refining-industry-outlook/. [Online ; accessed May 21, 2024].

[4] Theodore Wildi. *Electrical Machines, Drives and Power Systems*. Pearson, Upper Saddle River, NJ, 2010.

[5] L. L. Grigsby, editor. *The Electric Power Engineering Handbook*. CRC Press, 2017.

[6] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, and Thomas J. Overbye. *Power System Analysis and Design*. Cengage Learning, 2011.

[7] Juergen Schlabbach. *Power System Engineering : Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment*. McGraw-Hill, 2008.

[8] Ralph Fehr. *Industrial Power Distribution*. Peu d'informations spécifiques sur l'éditeur sont fournies., 2013. Le livre couvre probablement divers aspects de la distribution de l'énergie électrique dans l'industriels.

[9] Alex Nascimento et al. Industrial power system design : Challenges and applications. *IEEE Access*, 2018. L'article aborde probablement les défis spécifiques liés à la conception des réseaux électriques industriels.

[10] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Ieee 1584 - guide for arc-flash hazard calculations. 2002.

[11] Thomas Allen Short. *Electric Power Distribution Handbook*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2014.

[12] Siemens AG. Transformers and services, 2021. Catalogue de produits.

[13] Commission internationale en électrotechnique. Systèmes électriques industriels : fiabilité et stabilité. Rapport CEI, 2021. Site Web de la CEI.

[14] HOUACHE Kacem. Gas and steam turbine generator (gtg-stg). Technical report, Raffinerie d'Alger (SONATRACH), 2013. Présentation PowerPoint.

[15] ABB. Medium voltage products, 2010. Catalogue de produits.

[16] CAT. Diesel generator sets, 2019. Catalogue de produits.

[17] Siemens AG. Protection relays for power systems, 2021. Catalogue de produits.

[18] Association de normalisation IEEE. Norme ieee 3001.2-2017 - pratique recommandée pour l'évaluation des exigences de service électrique des systèmes électriques industriels et commerciaux, 2020. Disponible sur : IEEE Xplore.

[19] ABB. Maintenance préventive des équipements électriques, 2019. Disponible chez : Groupe ABB.

[20] Monde des énergies renouvelables. Adoption des énergies renouvelables industrielles, 2020. Disponible sur : Monde des énergies renouvelables.

[21] Siemens AG. Systèmes de gestion de l'énergie pour les applications industrielles, 2019. Disponible chez : Siemens.

[22] Administration de la sécurité et de la santé au travail (OSHA). Normes de sécurité électrique et de formation, 2021. Disponible sur : OSHA.

[23] Mohamed Khemouche and Yaagoub Silimi. Étude et adaptation des boucles de régulation des chaudières au niveau de la raffinerie d'alger pour le fonctionnement en gaz naturel, 2022. Faculté de technologie, Université de Médéa.

[24] Nader Chaimaa and Khaladi Safia. Analyse du potentiel de réduction d'energie par le procédé de compression de vapeur : Application à la colonne de séparation c105 de la raffinerie d'alger, 2022. Faculté de technologie, Département de Génie des Procédés, Université de Blida.

[25] HOUACHE Kacem. Gis (gas insulated switchgear) 60 kv - lignes 60 kv et relais numériques. Technical report, Raffinerie d'Alger (SONATRACH), 2013. Présentation PowerPoint.

[26] Technip and Sonatrach. Electrical network power system studies : Load flow and short-circuit. Technical report, January 2012.

[27] Journal officiel de l'Union européenne. Directive 715/2007/ce du 20 juin 2007. Version officielle, 2007.

[28] Norme d'émission européenne de 2009. Exigences en matière d'émissions pour les véhicules, 2009.

[29] D. DIOP and C. SUTRA. Ese-030-12 - electrical networks studies expertise, révision b2. Technical report, TECHNIP/SONATRACH, 2015.

[30] CPECC/SONATRACH. Electrical philosophy of supply for algiers refinery plant, 2017.

[31] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Gas-insulated substations – advantages and disadvantages of gis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34(3) :1402–1411, 2019. 08/02/2024.

[32] HOUACHE Kacem. Hv switchgear gis 20 kv. Technical report, Raffinerie d'Alger (SONATRACH), 2013. Présentation PowerPoint.

[33] Lyes Abbassen, Nacereddine Benamrouche, and Amar Bousbaine. Étude du comportement d'un turboalternateur connecté au réseau Électrique. In *Symposium de Génie Électrique (SGE 2020)*, Nantes, France, 2020.

[34] Technip and Sonatrach. Data sheet synchronous motors 520-km-002 a/b. Data sheet, Technip and Sonatrach, 2011.

[35] M. A. Elsayed. *ETAP : Power System Analysis Solutions.* McGraw-Hill Education, New York, NY, 2015.

[36] TECHNIP and SONATRACH. Data sheet (gas turbine generators), 2011.

[37] TECHNIP and SONATRACH. Data sheet (steam turbine generators), 2011.

Annexe A

Annexe Algorithmes

A.1 Algorithme Fonctionnement GTG

Algorithme A.1 : Fonctionnement du GTG

Entrées : Courant électrique fourni par le réseau, Paramètres du GTG

Sortie : Production d'électricité

Initialiser le GT comme la Gaz Turbine (GT)

Initialiser le régulateur de tension automatique (AVR)

Initialiser le panneau d'excitation du générateur (GEP)

Initialiser le panneau de contrôle et de protection du générateur (GCPP)

Initialiser le panneau de contrôle de l'unité (UCP)

Initialiser le générateur (G)

Initialiser le générateur magnétique permanent (PMG)

Initialiser le boîtier principal de connexion (MTB)

Initialiser les panneaux de distribution LNSC et LSC

while *Réseau électrique actif* **do**

- Recevoir le courant électrique fourni par le réseau
- Ajuster la tension de sortie avec l'AVR
- Contrôler l'excitation du générateur avec le GEP
- Surveiller et contrôler les paramètres de fonctionnement avec le GCPP
- Gérer l'ensemble de l'unité avec l'UCP
- Convertir l'énergie mécanique en électricité avec le G
- Assurer un fonctionnement continu et fiable avec le PMG
- Acheminer l'électricité produite vers les différents équipements et systèmes avec le MTB
- Distribuer l'électricité aux différents équipements avec les panneaux de distribution LNSC et LSC

A.2 Algorithme Fonctionnement STG

Algorithme A.2 : Fonctionnement du STG

Input : Vapeur sous pression, Steam Turbine (ST), Synchronous Generator (G), Automatic Voltage Regulator (AVR), Main Terminal Box (MTB), Generator Control Panel (GCP), Unit Control Panel (UCP), Permanant Magnetic Generator (PMG)

Output : Électricité produite

while *Vapeur sous pression disponible* **do**

- Diriger la vapeur vers la turbine à vapeur (ST);
- Convertir l'énergie thermique en énergie mécanique dans la turbine (ST);
- Faire tourner la turbine connectée au générateur électrique (G);
- Convertir l'énergie mécanique en électricité avec le générateur électrique (G);
- Utiliser l'Automatic Voltage Regulator (AVR) pour maintenir une tension stable;
- Envoyer l'électricité produite vers le Main Terminal Box (MTB);
- Contrôler et surveiller les paramètres avec le Generator Control Panel (GCP);
- Gérer l'ensemble de l'unité de génération avec l'Unit Control Panel (UCP);
- Assurer un fonctionnement continu et fiable avec le Permanant Magnetic Generator (PMG);

end