



CentraleSupélec



---

# Étude des régulations en tension des réseaux de distribution

---

RAPPORT D'ACTIVITÉ DE STAGE 2A

Rafael Accácio NOGUEIRA

Orienté par  
**M. Hervé GUÉGUEN**

6 septembre 2017

## Table des matières

Liste des Acronymes	3
Glossaire	4
1 Objectif	5
2 Introduction Générale	5
2.1 Sur le lieu de travail . . . . .	5
2.1.1 L'IETR . . . . .	5
2.1.2 Division des Équipes de Recherche . . . . .	5
2.1.3 L'équipe AUT . . . . .	6
2.2 Le Projet . . . . .	6
3 Division du travail	7
3.1 Première Partie - Lecture . . . . .	7
3.2 Deuxième Partie - Mise en Main . . . . .	7
3.3 Troisième Partie - Programmation . . . . .	7
3.4 Quatrième Partie - Intégration . . . . .	7
3.5 Cinquième Partie - Rédaction . . . . .	8
4 Méthodologie	9
4.1 Deuxième Partie - Mise en Main . . . . .	9
4.1.1 À propos du DIgSILENT PowerFactory . . . . .	9
4.2 À propos du réseau . . . . .	10
5 Troisième Partie - Programmation	12
6 Conclusion	15
Appendices	16
A Programmes	16
Liste des tableaux	17
Table des figures	18

## Liste des Acronymes

**AUT** AUTomatic control. 5

**CSV** Comma Separated Values. 14, 15

**DPL** DIgSILENT Programming Language. 7

**EDF** Électricité de France. 9

**EMT** Electro Magnetic Transient. 10

**Enedis** l'ancienne ERDF. 9

**GUI** Interface Graphique d'utilisateur. 9, 10, 18

**IETR** Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes. 5, 9

**JPL** NASA Jet Propulsion Lab - Caltech - USA. 5

**POLIMI** Politecnico Milano - Italia. 5, 9

**RMS** Root Mean Square - Moyenne quadratique. 10

**USP** Universidade de São Paulo - Brasil. 5

## Glossaire

$Q_{Cx-xx}$  Puissance Réactive de la charge  $Cx - xx$ . 13

$Q_{GDx}$  Puissance Réactive du générateur  $GDx$ . 14

$V_{Nxx}$  Tension du bus  $Nxx$ . 13

# 1 Objectif

L'objectif de ce document est faire un rapport du stage, qui détaille le lieu de travail, toutes les choses produits pendant le stage en expliquant les méthodes utilisés et qui montre les résultats obtenus, les commente et dit les implications des conclusions.

## 2 Introduction Générale

Afin de compléter la formation du 2A CentraleSupélec, un stage a été réalisé entre les mois de juillet et septembre de 2017, au sein du laboratoire de l'équipe AUTomatic control (AUT) du Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes (IETR) en travaillant au cadre du projet d'Étude des régulations en tension des réseaux de distribution, avec la orientation de M. Hervé GUÉGUEN.

### 2.1 Sur le lieu de travail

#### 2.1.1 L'IETR

L'IETR est un institut de recherche français, spécialisé en électronique et télécommunication, localisé à Rennes, comptant avec plus que 300 enseignants-chercheurs, ingénieurs, doctorants et administratifs, il est formé par équipes de recherche des écoles et instituts de recherche de la région comme le CNRS, l'Université Rennes 1, INSA de Rennes, CentraleSupélec et Université de Nantes.

En relation aux partenariats avec autres instituts et entreprises, L'IETR a une liste considérable de partenaires, incluent des centres publiques comme CEA, CNES et Club Automatique et Automatisation industrielle de la SEE, petites et moyennes entreprises privés comme A&P Lithos, Adlightec et Advansee, et grandes groupes comme Alstom, EDF et Mitsubishi.

Son partenariat International compte sur plus de 70 Universités, Instituts et Agences de recherche parmi tout le monde, incluent NASA Jet Propulsion Lab - Caltech - USA (JPL), Politecnico Milano - Italia (POLIMI) et Universidade de São Paulo - Brasil (USP).

#### 2.1.2 Division des Équipes de Recherche

Afin de meilleur catégoriser les thématiques des projets de recherche L'IETR est divisé en 6 départements/équipes :

- Antennes & Dispositifs Hyperfréquences (ADH)
- Signal & Communications (SC)
- Ondes & Signaux (OS)
- Image
- Microélectronique & Microcapteurs (MM)
- Automatique (AUT)

L'organigramme structurel avec tant les parties de recherche quant les parties administratifs du IETR peut être vu dans la figure 2.1.

### 2.1.3 L'équipe AUT

L'équipe de Automatique est basé a CentraleSupélec et travaille dans diverses thématiques utilisant les connaissances des domaines de analyse et commande des systèmes hybrides.

Ses projets ont des applications que couvrent diverses métiers, on peut voir quelques exemples de projets : comme dans le métier des bâtiments intelligents ( régulation de chauffage pour augmenter l'efficacité énergétique ), de la santé ( models des pancréas artificiels pour contrôler le métabolisme de glucose ), du transport ( stratégies de régulation de vitesse des automobiles ), de la distribution d'énergie ( Études de stabilisation de tension de générateurs distribués dans un réseau de distribution ) entre autres.

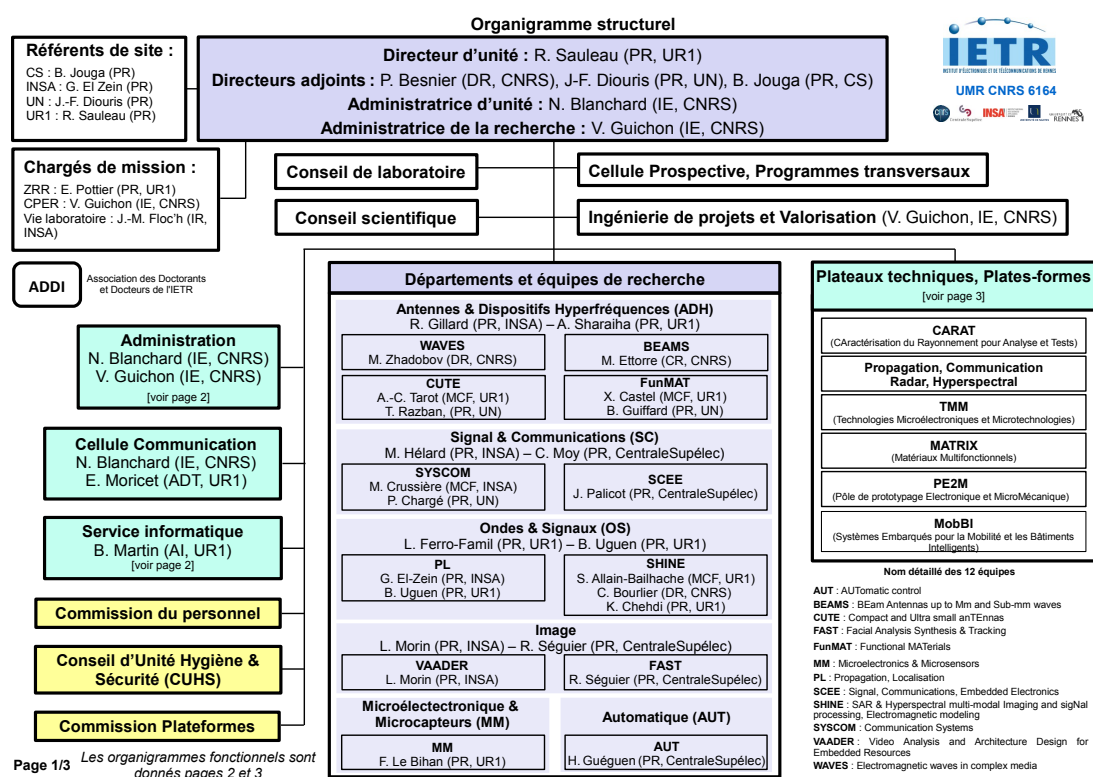


Figure 2.1 – Organigramme de l'IETR.

## 2.2 Le Projet

L'objectif du projet réalisé pendant le stage était faire des simulations d'un réseaux de distribution électrique et développer des régulateur des tension des bus du circuit tout ça utilisant les logiciels MATLAB et DigSILENT PowerFactory.

Les résultats obtenues a partir de ces simulations ont été interprété et comparé avec les résultats provenant du travaille de Marjorie Cosson [1] a fin d'obtenir une revalidation de ses conclusions.

### 3 Division du travail

Pour faire le travail un peu plus simple en concentrant les efforts en petits tâches chacune par foi, optimisant le temps. Le travail était divisé en plusieurs *Work Packages*, caqu'un composé par petits tâches. La division et ses respectives tâches peuvent être vu dans les sections 3.1 à 3.5 suivantes.

#### 3.1 Première Partie - Lecture

La première partie consistait en lire le article de WAN Yidong [4], qu'explique d'une façon un peu simplifié le problème et montre des façons de calculer les gains entre la tension des bus et la puissance reactive des charges, en utilisant scripts écrits en DIgSILENT Programming Language (DPL) dans le logiciel PowerFactory et la création d'une matrix de gain.

Après la lecture du article, la lecture de quelques parties de la thèse de Marjorie Cosson [1] a fin de comprendre le problème un peu meilleur proposé et les résultats trouvés.

Autres lectures supplémentaires ont été faites, [2] et [3]. Ces articles utilisent le même réseaux que [1] et quelques données ont aidé pour la reconstruction du réseaux dans le PowerFactory.

#### 3.2 Deuxième Partie - Mise en Main

Après la lecture des documents commençait l'étude et pris en main du logiciel DIgSILENT PowerFactory, en lisant et regardant les tutoriels a l'internet, en faisant quelques petits exemples du logiciel a fin d'apprendre les outils nécessaires pour faire les tests proposés et après, faire la montage de la modèle du réseaux dans le PowerFactory, le diagramme montré dans la figure 3.1.

#### 3.3 Troisième Partie - Programmation

Pendant ce partie diverses scripts ont été créés en utilisant les langages MATLAB et Python :

- Pour charger les valeurs de puissance des charges.
- Pour charger les valeurs de puissance des générateurs.
- Pour calculer les gains entre les bus et les générateurs.
- Pour faire des matrices de gains.
- Pour créer des événements de charges et générateurs, faire des simulations et prendre les résultats en graphiques.

#### 3.4 Quatrième Partie - Intégration

Pendant la quatrième partie la interface entre le PowerFactory et MATLAB a été requise a fin de créer une modèle de régulateur au simulink et utiliser dans le PowerFactory. [Le Régulateur a été déjà crée et quelques configurations dans le PowerFactory sont manquantes.](#)

### 3.5 Cinquième Partie - Rédaction

La cinquième partie consistait en élaborer des rapports et autres documents de description du projet, comme ce document par exemple.

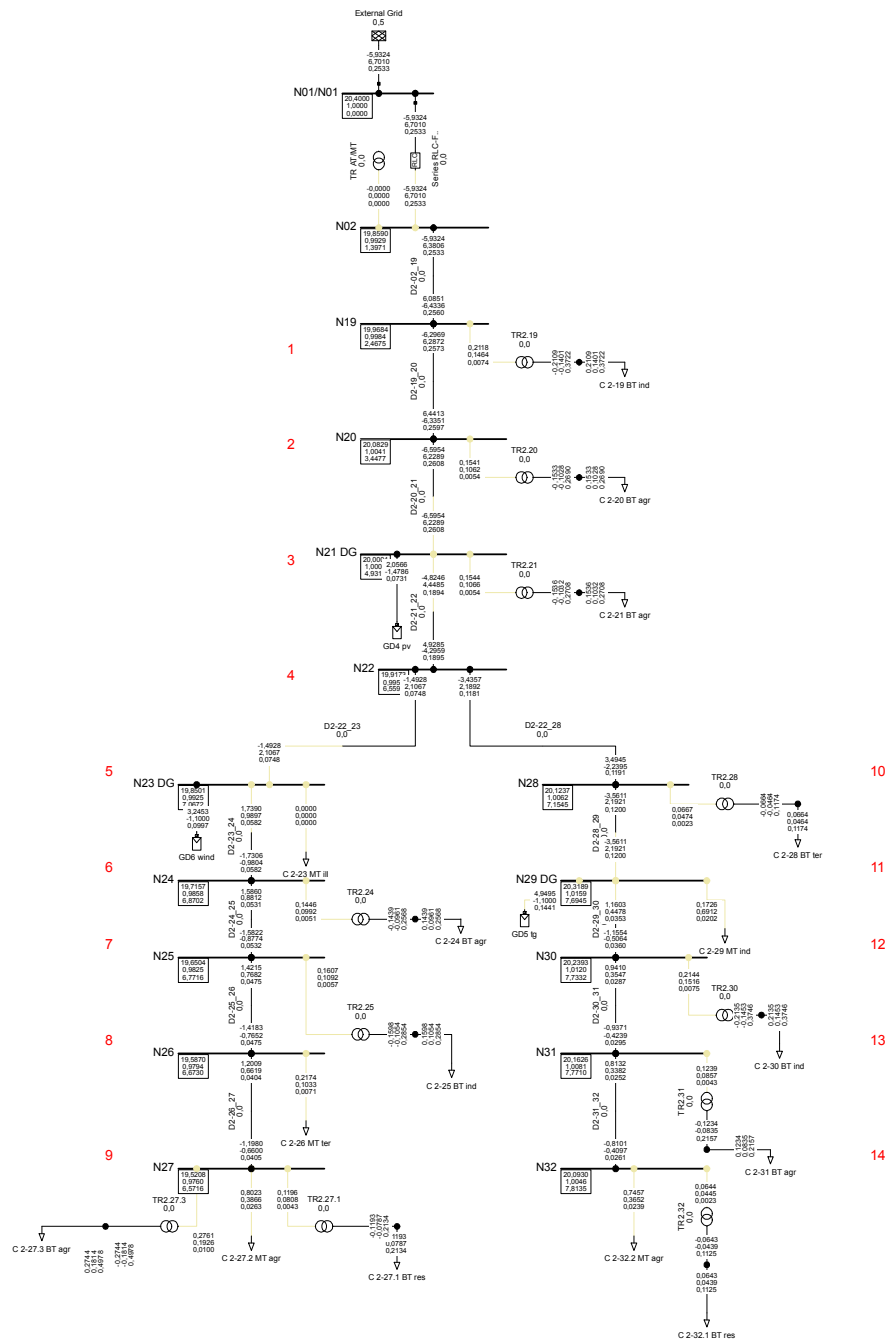


Figure 3.1 – Diagramme du reseau



## 4 Méthodologie

Cette section a comme but expliquer les méthodes utilisées pour faire chaque tâche des parties 2 a 4 du travail, décrits dans les sections 4.1 a 3.4.

### 4.1 Deuxième Partie - Mise en Main

Comme dit, le logiciel DlgSILENT PowerFactory a été utilisé pour faire des simulations du réseau, donc une petite explication du réseau et du logiciel sera faite dans cette section.

#### 4.1.1 À propos du DlgSILENT PowerFactory

Le DlgSILENT PowerFactory est un logiciel beaucoup utilisé dans le métier d'Énergie, par entreprises comme Électricité de France (EDF), l'ancienne ERDF (Enedis) pour faire des simulations des réseaux électriques, que les permettent de vérifier stabilité en cas de panne et surcharge ou sous-charge de parties du réseau, calculer coûts d'opération et même programmer autres changements futur du réseau. Quelques autres instituts comme L'IEETR et POLIMI, par exemple l'utilisent pour ses thèmes des thèses et autres recherches.

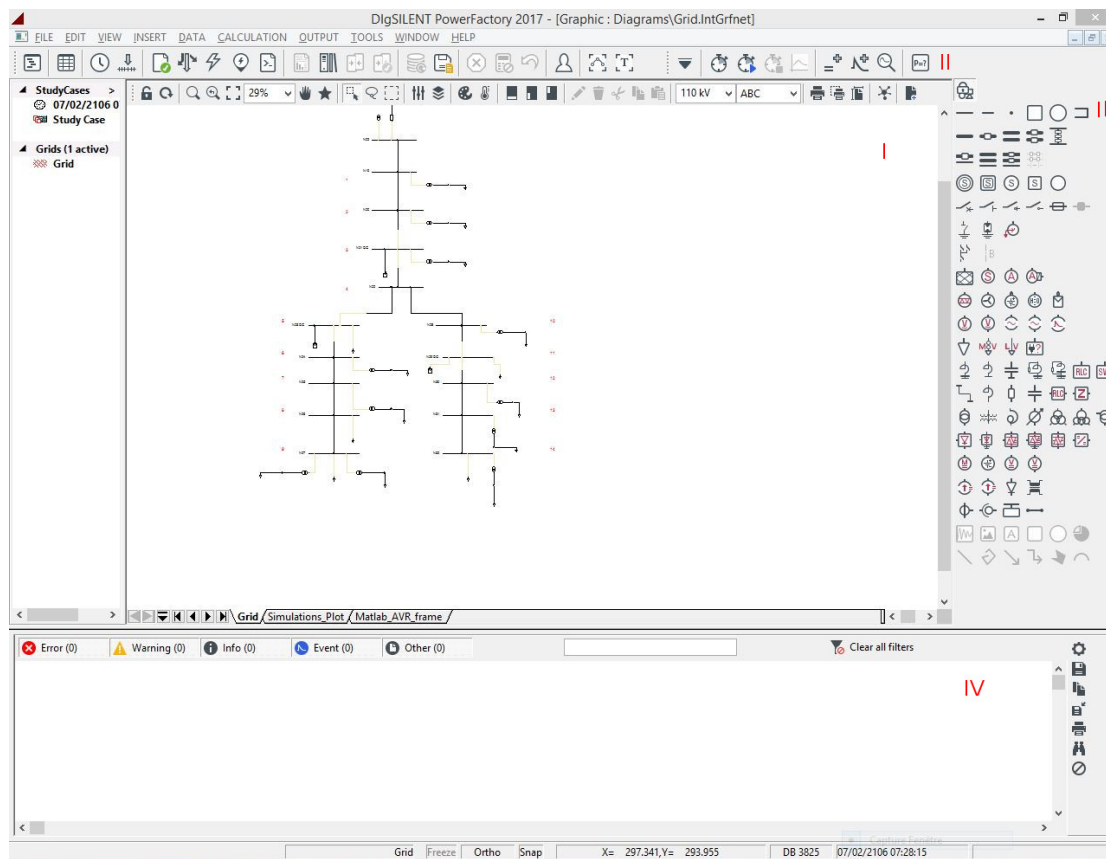


Figure 4.1 – Interface Graphique d'utilisateur (GUI) du DlgSILENT PowerFactory.

En peut voir dans la figure 4.1 quelques panneaux basiques importants du GUI du DIgSILENT PowerFactory

#### I Panneau Graphique

Où les diagrammes sont affichés, tant réseaux quant graphiques.

#### II Panneau des Outil

Où sont concentrés les outils du programme, pour modifier l'affichage, donnant une couleur différente par chaque bus par exemple ; faire des diverses types de simulation, de Court-circuit, calculs de flux de charge simulation Root Mean Square - Moyenne quadratique (RMS) et Electro Magnetic Transient (EMT), etc.

#### III Panneau de Dessin

Outils pour dessiner des éléments du réseau, comme bus, transformateur, charge etc

#### IV Panneau de Sortie

Où sont montrés les résultats des calculs et simulations, les avertissement et les erreurs.

## 4.2 À propos du réseau

Comme était dit, la figure 3.1 démontre le réseau utilisé. Si on compare avec le réseaux utilisé en [1] et [3], il est possible de voir que le réseaux de la figure 3.1 représente juste la moitié du original. Cette choix de prendre une partie du réseaux a comme raison la diminution des éléments et conséquemment la complexité des résolutions des simulations.

Le réseau est formé pour 16 charges et 3 générateurs distribués, 12 transformateurs. Dans le réseau original deux des trois générateurs étaient des machines synchrones mais elles ont été remplacé par des panneaux photovoltaïque, a fin de faire les réponses des tests plus vite, en vue de la dynamique des panneaux considérablement plus vite que des machines synchrones, qui dépendent des constants électromécanique.

A fin de faire une meilleur description du réseaux les tables 1 à 7 ont les caractéristiques des éléments qui la composent.

TABLE 1 – Générateurs Distribués du Réseau.

GD	P[MW] nominal	P[MW] 1p.m.
GD4	3.2	2.056124
GD5	5.5	4.94595
GD6	5.5	3.245381

TABLE 2 – Transformateurs HV/MV.

Model	40 MVA132/20
Puissance	50MVA
Pertes Cuivre	176kW
Tension de court-circuit Relative	15.5%
Taps	12
Tension per Tap	1.5%

TABLE 3 – Transformateurs MV/LV.

Modèle	0.25MVA 20kV/0.4	0.4MVA 20kV/0.4	0.63MVA 20kV/0.4
Puissance	250kVA	400kVA	630kVA
Pertes Cuivre	2.6kW	3.7 kW	5.6kW
Tension de court-circuit Relative	4%	4%	4%
Nombres de Transformateurs	1	6	4

TABLE 4 – Transformateurs.

Nom	Modèle
TR AT/MT	40 MVA132/20
TR 2.19	0.63MVA 20kV/0.4
TR 2.20	0.4MVA 20kV/0.4
TR 2.21	0.4MVA 20kV/0.4
TR 2.24	0.4MVA 20kV/0.4
TR 2.25	0.4MVA 20kV/0.4
TR 2.27.1	0.63MVA 20kV/0.4
TR 2.27.3	0.63MVA 20kV/0.4
TR 2.28	0.25MVA 20kV/0.4
TR 2.30	0.63MVA 20kV/0.4
TR 2.31	0.4MVA 20kV/0.4
TR 2.32	0.4MVA 20kV/0.4

TABLE 5 – Caractéristiques des Lignes.

Nom	Genre	Longueur[km]
D2-02_19	ARG7H1RX 185mmq	3.6
D2-19_20	ARG7H1RX 185mmq	3.304
D2-20_21	Aerea Cu 70mmq	2.4
D2-21_22	Aerea Cu 70mmq	3.6
D2-22_23	Aerea Cu 70mmq	3
D2-22_28	ARG7H1RX 70mmq	2.4
D2-23_24	Aerea Cu 70mmq	3.08
D2-24_25	Aerea Cu 70mmq	1.65
D2-25_26	Aerea Cu 70mmq	1.8
D2-26_27	Aerea Cu 70mmq	2.2
D2-28_29	ARG7H1RX 70mmq	2.2
D2-29_30	ARG7H1RX 70mmq	2.4
D2-30_31	ARG7H1RX 70mmq	2.6
D2-31_32	ARG7H1RX 70mmq	2.7

TABLE 6 – Lignes.

Nom	Genre	Section[mm <sup>2</sup> ]	R[Ω/km]	L[mH/km]	C[μF/km]
ARG7H1RX 185mmq	Câble	185	0.2180	0.350	0.2900
ARG7H1RX 70mmq	Câble	70	0.5800	0.41	0.2100
Aerea Cu 70mmq	Aérien	70	0.2681	1.286	0.0090

TABLE 7 – Charges.

Nom	Genre	P[ <i>MW</i> ]1p.m.	Q[ <i>MVAR</i> ]1p.m.
C 2-19	LV	0.1894	0.1265088
C 2-20	LV	0.1147	0.0774413
C 2-21	LV	0.1155	0.0782289
C 2-23	MV	0	0.1
C 2-24	LV	0.1094	0.0741473
C 2-25	LV	0.1450	0.0984401
C 2-26	MV	0.3993	0.2049369
C 2-27.1	LV	0.2471	0.1656134
C 2-27.2	MV	.6083	0.2971269
C 2-27.3	LV	0.2094	0.1407233
C 2-28	LV	0.1205	0.08741
C 2-29	MV	0.1561	0.0798601
C 2-30	LV	0.1934	0.1347733
C 2-31	LV	0.0934	0.0640347
C 2-32.1	LV	0.1333	0.0923274
C 2-32.2	MV	0.5634	0.2791258

## 5 Troisième Partie - Programmation

Pendant ce partie diverses scripts ont été créés en utilisant les langages MATLAB et Python, en intégration des bibliothèques Python du DIgSILENT PowerFactory, qui pourvoit quelques fonctions pour accéder aux éléments du réseau, changer ses caractéristiques et faire des mesures de courant, tension etc.

Dans cette section chaque script est décrit par son fonctionnement, pour une description minutieuse, les codes sont présents dans l'appendice A. En ayant en tête que toutes fichiers utilisés sont disponibles dans le site [https://github.com/Accacio/scripts\\_powerfactory](https://github.com/Accacio/scripts_powerfactory).

### 5.1 gain\_calc – load2bus.py

Ce script change les valeurs de puissance réactive demandé par les charges pendant un intervalle de temps et prend les valeurs de tension du bus auquel la charge est connecté pendant ce temps et calcule le gain entre chaque charge et bus, formant une matrice de dimension  $16 \times 16$ , avec le format suivant :

TABLE 8 – Matrice des Gain de sortie du script *gain\_calc – load2bus.py*.

$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-19}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-19}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-19}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-19}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-19}}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-27.1}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-27.1}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-27.1}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-27.1}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-27.1}}$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-27.2}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-27.2}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-27.2}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-27.2}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-27.2}}$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-27.3}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-27.3}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-27.3}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-27.3}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-27.3}}$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-28}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-28}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-28}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-28}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-28}}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-32.1}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-32.1}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-32.1}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-32.1}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-32.1}}$
$\frac{V_{N01}}{Q_{C2-32.2}}$	$\frac{V_{N02}}{Q_{C2-32.2}}$	$\frac{V_{N19}}{Q_{C2-32.2}}$	$\frac{V_{N20}}{Q_{C2-32.2}}$	$\dots$	$\frac{V_{N32}}{Q_{C2-32.2}}$

Où  $V_{Nxx}$  et  $Q_{Cx-xx}$  sont la tension du bus  $Nxx$  e la puissance réactive de la charge  $Cx-xx$ .

## 5.2 gain\_calc – generator2bus – test\_1.py

Ce Script change les valeurs de puissance réactive des générateurs pendant un intervalle de temps e prends les valeurs de tension du bus auquel le générateur est connecté pendant ce temps et calcule le gain entre chaque générateur et bus, formant une matrice de dimension  $3 \times 3$ . L'allure de la courbe utilisé peut être vu dans la figure 5.1. Le format de la matric est montré dans la table 9.

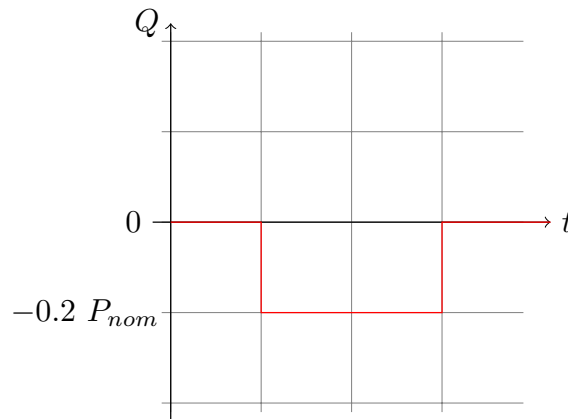


Figure 5.1 – Allure de la courbe utilisé pendant le Test 1.

TABLE 9 – Matrice des Gain de sortie du script  
*gain\_calc – generator2bus – test\_1.py*.

$\frac{V_{N21}}{Q_{GD4}}$	$\frac{V_{N29}}{Q_{GD4}}$	$\frac{V_{N23}}{Q_{GD4}}$
$\frac{V_{N21}}{Q_{GD5}}$	$\frac{V_{N29}}{Q_{GD5}}$	$\frac{V_{N23}}{Q_{GD5}}$
$\frac{V_{N21}}{Q_{GD6}}$	$\frac{V_{N29}}{Q_{GD6}}$	$\frac{V_{N23}}{Q_{GD6}}$

Où  $Q_{GDx}$  est la puissance réactive du générateur  $GDx$ .

### 5.3 *gain\_calc – generator2bus – test\_2.py*

Fondamentalement le même que *gain\_calc – generator2bus – test\_1.py*, mais la courbe de changement de puissance suivre l'allure de la figure 5.2. Le format de la matrice est le même montré dans la table 9.

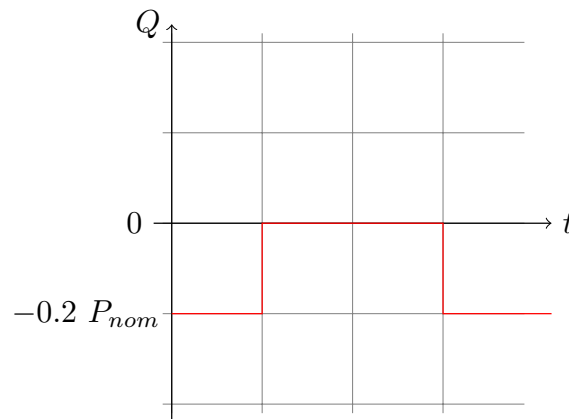


Figure 5.2 – Allure de la courbe utilisé pendant le Test 2.

### 5.4 *import\_generator\_csv.py*

Ce script prend des fichiers Comma Separated Values (CSV) qui a données de puissance nominal, active et réactive des générateurs, et les charge en chaque générateur.

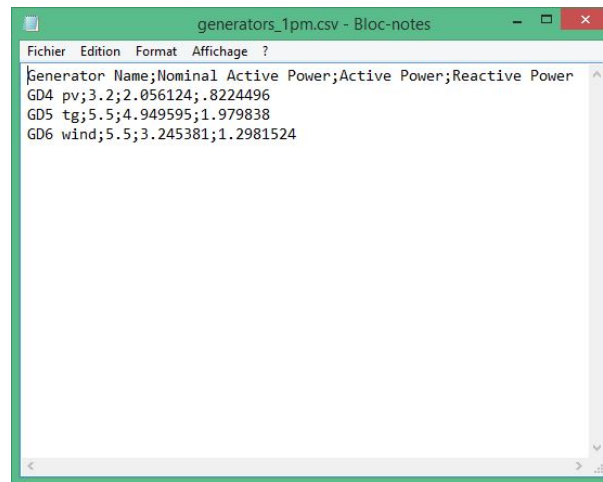


Figure 5.3 – Exemple d'un fichier CSV, séparé par point-virgule.

La choix d'utiliser fichiers CSV a été fait en raison de ce type de fichier est texte sans brut sans formatage, sa taille est très réduite. Et ce type de fichier est très simple pour faire des modifications et création a partir d'une table excel, ainsi que la conversion entre ces deux extensions.

### 5.5 import\_load\_csv.py

Ce script prend des fichiers CSV qui a données de puissance active et ré-active des charges, et les charge en chaque respective charge.

### 5.6 csv2mat.m

Ce script fait en MATLAB prend un fichier CSV sortie de **simulation** et le transforme en un fichier .mat. Il crée une structure composés par autres structures qui sont les éléments du circuit et composées par ses données pendant le temps, a fin de les utiliser pour faire des graphiques.

### 5.7 printalldata.metprintpdf.m

Ces scripts ont été créés pour faire les plots des graphiques et les sauvegarder pour un futur use dans les rapports.

## 6 Conclusion

# Appendices

## A Programmes



## Liste des tableaux

1	Générateurs Distribués du Réseau. . . . .	10
2	Transformateurs HV/MV. . . . .	10
3	Transformateurs MV/LV. . . . .	11
4	Transformateurs. . . . .	11
5	Caractéristiques des Lignes. . . . .	11
6	Lignes. . . . .	11
7	Charges. . . . .	12
8	Matrice des Gain de sortie du script <i>gain_calc – load2bus.py</i> . . . .	13
9	Matrice des Gain de sortie du script <i>gain_calc – generator2bus – test_1.py</i> . . . . .	14

## Table des figures

2.1	Organigramme du IETR. . . . .	6
3.1	Diagramme du reseaux . . . . .	8
4.1	GUI du DIgSILENT PowerFactory. . . . .	9
5.1	Allure de la courbe utilisé pendant le Test 1. . . . .	13
5.2	Allure de la courbe utilisé pendant le Test 2. . . . .	14
5.3	Exemple d'un fichier CSV, séparé par point-virgule. . . . .	15

## Références

- [1] Marjorie Cosson. *Stability of a distribution electrical network. Analysis from a complex system point of view*. Theses, Université Paris-Saclay, September 2016.
- [2] Marcello Farina, Antonio Guagliardi, Federico Mariani, Carlo Sandroni, and Riccardo Scattolini. Model predictive control of voltage profiles in mv networks with distributed generation. *Control Engineering Practice*, 34 :18–29, 2015.
- [3] Federico Mariani. Controllo predittivo con vincoli soft e logica di gestione del tap changer di una rete elettrica con generazione distribuita. 2013.
- [4] Yidong Wang. Voltage stabilisation of distribution grid. 2017.