

1 Laboratoire de réseaux électriques

1.1 Introduction

Le mini-réseau de la HEIA-FR est un émulateur analogique d'un réseau électrique contenant une partie AC et DC. La partie AC du mini-réseau est une reproduction à l'échelle du réseau haute tension du canton de Fribourg. Il reproduit à l'échelle les différentes parties du réseau, à savoir, une partie primaire (transformateur, lignes, etc.), une partie protection y compris mesures, contrôle-commande et communication poste et SCADA. L'installation est équipée avec la dernière génération d'appareils de protection et de contrôle, travaillant avec la norme CEI 61850. Le réseau DC permet d'émuler des futurs réseaux en courant continu de même que des réseaux mixtes AC/DC. Il est utilisé pour :

- La formation au niveau Bachelor, Master et de la formation continue (CAS et cours ad hoc)
- Les projets de recherche

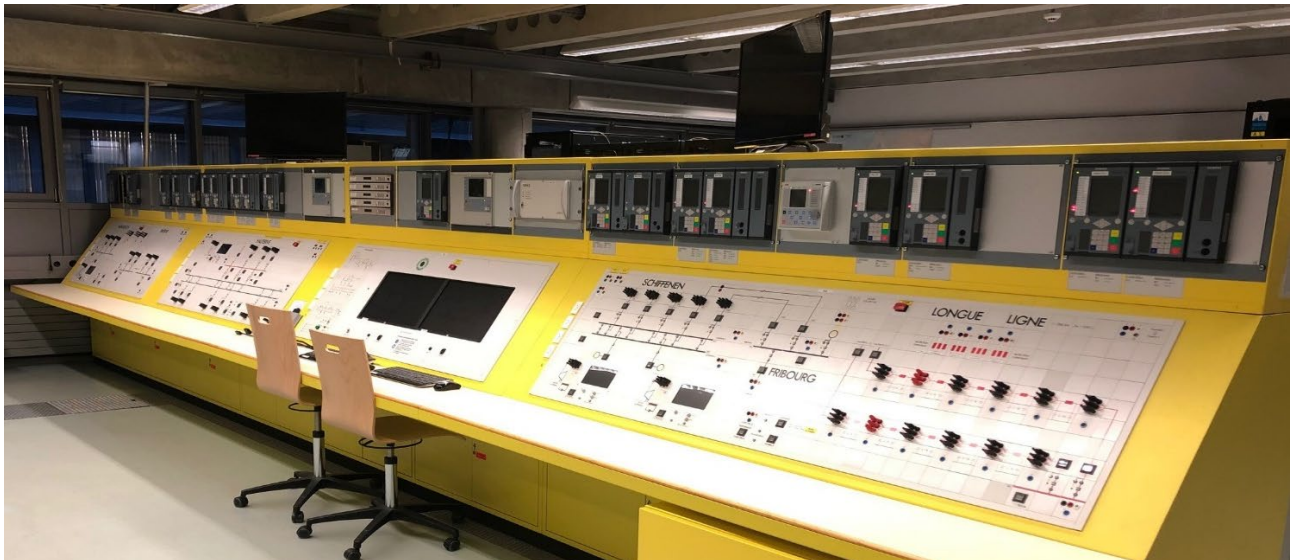


Figure 1 : Mini-réseau AC avec les appareils de protection et de contrôle

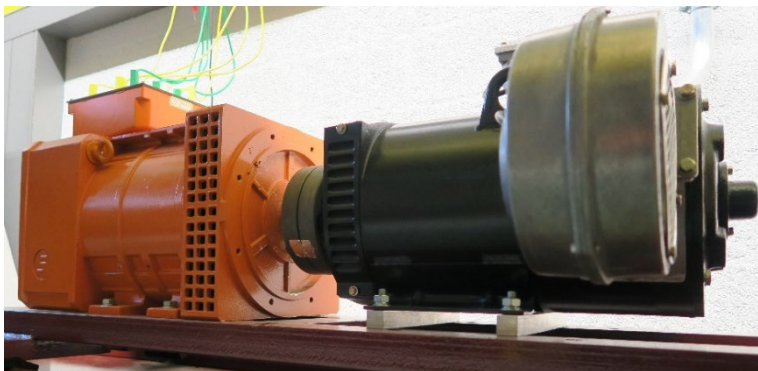


Figure 2 : Groupe de production



Figure 3 : Exemple de ligne

1.2 Équipements mini-réseau AC

1.2.1 Mini-réseau AC

Il s'agit d'un émulateur analogique sous forme d'une maquette d'une longueur de 8 m avec une échelle 1 :100'000 [VA] comprenant :

- Équipement primaire
 - Introduction 380 kV et transfos à gradins HT-MT (380 kV : 60kV)
 - Réseau maillé à cinq nœuds (postes de couplage avec divers jeux de barres) et dix lignes de 60 kV, comportant aussi 4 groupes de production et 2 centres de consommation (charges actives et réactives)
 - Deux longues lignes THT à 3'000 km
 - Équipements FACTS : soient 2 UPFC permettant le contrôle de flux de puissance
 - HVDC (via mini-réseau DC)
- Facteur d'échelles réseau 380 kV : tension 1 : 950, courant 1 : 105.3, impédance 1 : 9
- Facteur d'échelles réseau 60 kV : tension 1 : 150, courant 1 : 667, impédance 1 : 4.44
- Équipement secondaire
 - Contrôle et protection de l'installation par 18 appareils de protection
 - Réseau de télécommunication de postes
 - 2 merging units (MU), une MU digitale avec capteur NCIT (Alstom AGILE XMU 800) et une MU analogique (Siemens SIPROTEC 7SC805)
 - Mesures PMU synchronisées par GPS
 - Logiciel pour le calcul des réseaux électriques
 - Digital synchronous switching relay GE RPH3

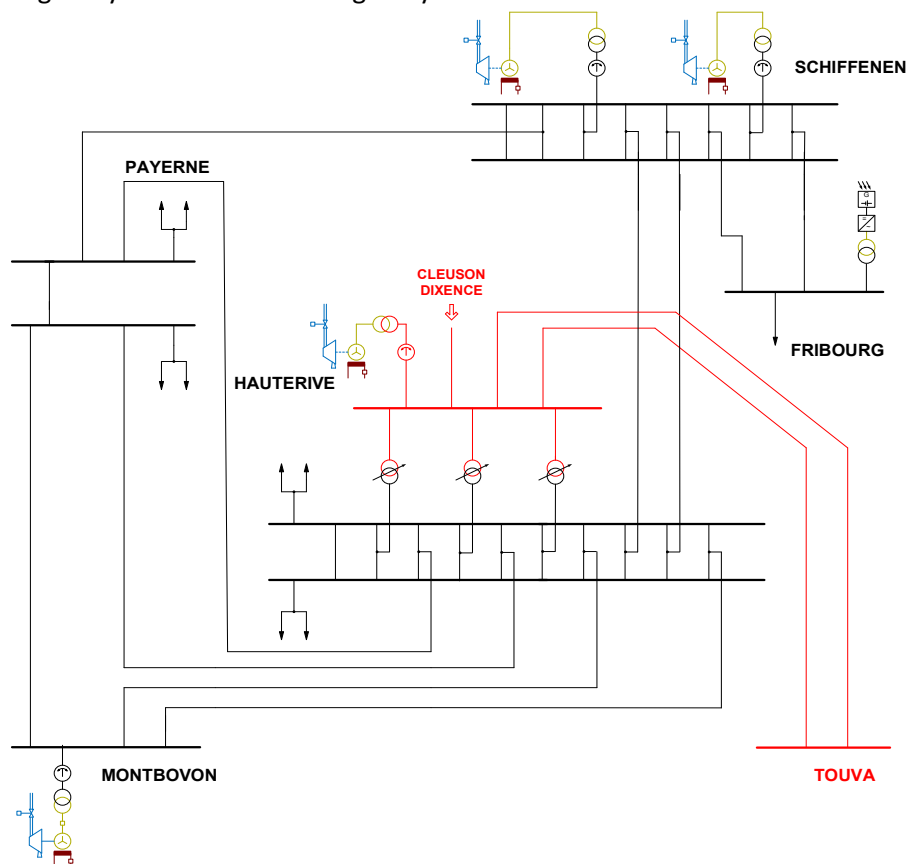


Figure 4 : Schéma électrique du mini-réseau AC

1.2.2 Contrôle et protections des lignes et des transformateurs du mini-réseau AC

La commande du mini-réseau AC est effectuée par des relais de protection et des contrôleurs de champs (IED) du type Siemens SIPROTEC 5 qui sont tous connectés à un système de supervision afin d'avoir un système global reflétant au mieux la réalité. Les relais offrent la possibilité de travailler avec le nouveau standard de communication CEI 61850. L'installation est construite d'une manière modulaire, qui permet d'effectuer un changement des IED (Détails dans les annexes).



Figure 5 : Mini-réseau avec relais de protection du type Siemens SIPROTEC 5 du poste de Schiffenen

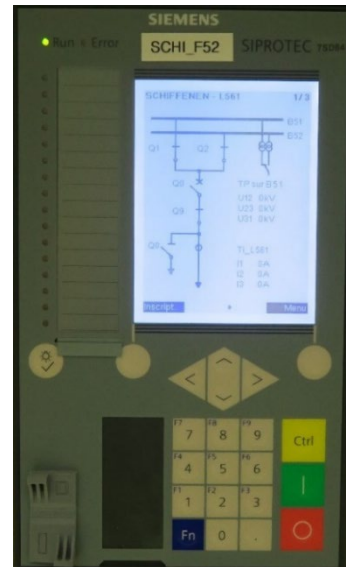


Figure 6 : Relais de protection différentielle de lignes

- 18 Siemens SIPROTEC 5 en opération:
 - 7 protections de surintensité avec contrôle de champ (7SJ)
 - 2 protections de distance (7SA)
 - 2 protections différentielles de lignes (7SD)
 - 2 protections différentielles et de distance (7SL)
 - 1 protection moteur (7SK) (génératrice)
 - 1 protection de jeu de barres (7SS)
 - 1 protection générateur (7UM)
 - 1 protection transformateur (7UT)
 - 1 contrôleur de champ avec interface CEI 61870-104 (6MD)
- Un contrôleur d'enclenchement synchronisé ("controlled switching") GE Grid Solutions RPH3 avec acquisition analogique ou digitale (CEI-61850-9-2 LE).
- Relais de protection non intégrés dans le mini-réseau (réserve et tests):
 - Siemens:
 - 1 protection de distance SIPROTEC 4 (7SA)
 - 1 protection transformateur SIPROTEC 4 (7UM)
 - 1 protection de distance SIPROTEC 5 (7SA)
 - 2 protections de surintensité SIPROTEC 5 avec contrôle de champs (7SJ)
 - ABB
 - 1 protection différentielle de lignes (RED 670)
 - 1 protection transformateur (RET 650)
 - 1 protection de distance (REL 650)
 - 2 PMU (RES670)
 - 1 relais de délestage (PML 630)
 - 1 relais de protection / contrôleur de champ (REF 615)

- Areva T&D
 - 2 relais de protection pour le délestage sur seuil de fréquence (UFLS) MiCOM P132
- Sprecher Automation
 - Appareil multi-fonction SPRECON-E-P

1.2.3 Fonctionnement îloté

Le mini-réseau peut fonctionner en mode îloté avec:

- Un groupe de production (machine synchrone) en mode réglage de fréquence
- Une charge modulaire avec possibilité de délestage sur seuil de fréquence

1.2.4 Télécommunication

Le mini-réseau est équipé avec un système de communication moderne, capable de gérer les nouveaux protocoles de communication.

- Appareils
 - Réseau optique et cuivre
 - Switchs industriels Siemens Ruggedcom 940G et 950G
 - Switchs industriels Cisco IE 2000U
 - Routeur industriel Cisco CGR 1120
 - Redondance du réseau avec protocoles CEI 62439 (PRP & HSR)
 - Communication dans les postes avec la norme CEI 61850-8-1 (GOOSE+MMS)
 - Communication entre le centre de conduite et les postes avec la norme CEI 61870-104
 - 2 merging units (Alstom AGILE XMU 800 et Siemens SIPROTEC 7SC805), communication avec CEI 61850-9-2 (Sampled values)
 - Horloge maitresse PTP / IEEE 1588 OMICRON OTMC 100p
 - IEEE 1588 / PTP Time Converter OMICRON TICRO 100
 - 4 OMICRON ISIO 200 Binary input/output (I/O) terminal with IEC 61850 interface
- Ingénierie poste et réseau, outils
 - DIGSI 5
 - Stream X (Romande Energie)
 - SICAM PAS
 - SICAM 230
 - OMICRON Station Scout
- Poste de travail
- Poste de supervision avec Siemens SICAM 230
- Point d'accès Wi-Fi pour chaque poste
- Role-Based Access Control (RBAC) configuré pour authentifier les utilisateurs

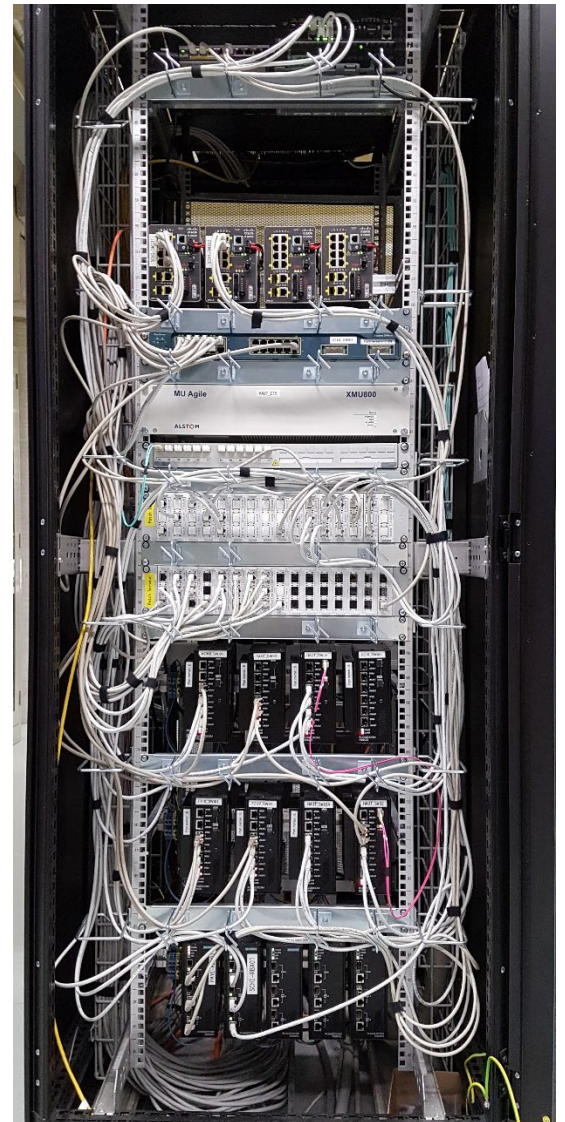


Figure 7 : Armoire de télécommunication

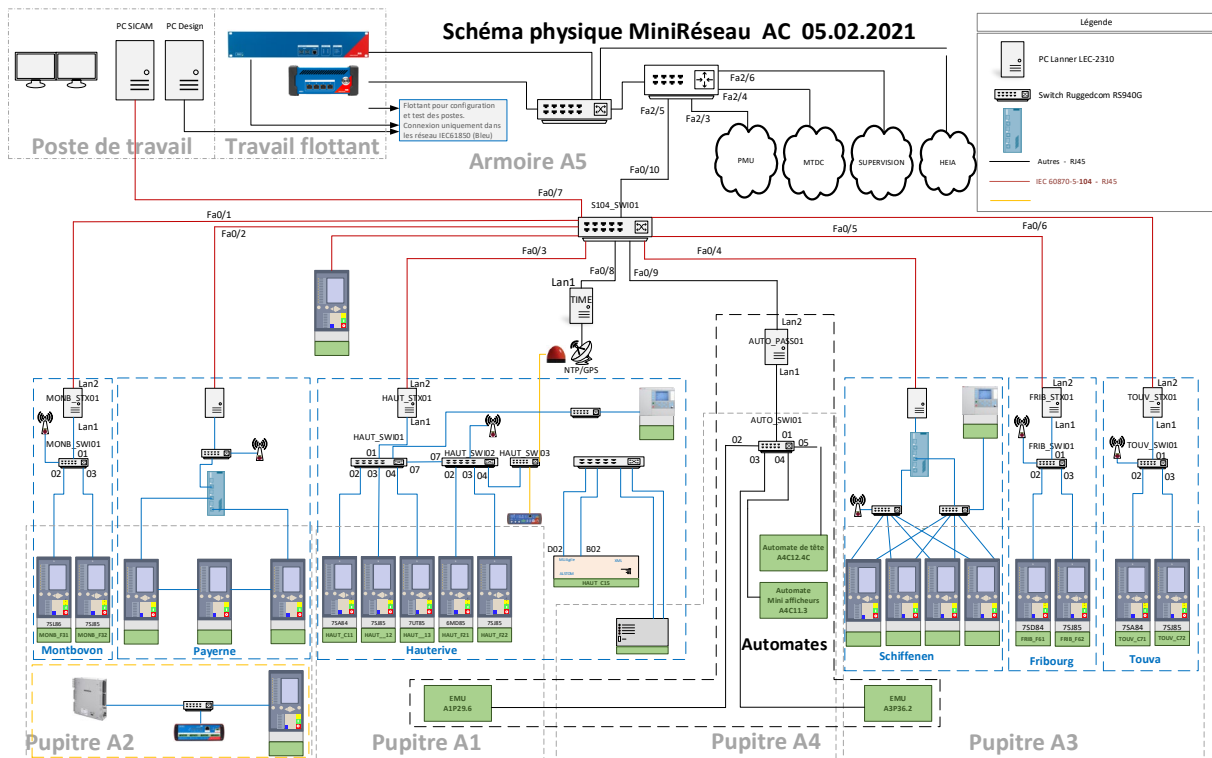


Figure 8 : Architecture de télécommunication

1.2.5 Équipement de mesure et d'analyse

- 7 PMU (5 Arbiter 1133A + 2 ABB RES670)
- Système de visualisation et analyse des données PMU: SEL Synchrowave Central
- Ensemble de test et outil de mise en service universel pour les relais OMICRON CMC 356
- Analyseur de signaux hybrides pour systèmes d'automatisation des postes électriques OMICRON DANEO 400
- Oscilloscopes ROHDE & SCHWARZ RTO 2004
- IEDScout, système StationScout
- Système de détection d'intrusion StationGuard
- Siemens SIGRA, , SEL SynchroWave Event

1.3 Mini-réseau DC

Il s'agit d'un émulateur analogique ayant comme caractéristiques

- Facteur d'échelles : Tension 1 :1000, Courant 1 :1000 , Impédances 1 :1
- 5 kVA par convertisseur
- 6 segments de lignes aériennes
- 16 segments de câbles
- Chaque segment modélise une longueur de 100 km et peut être exploité comme monopôle ou comme dipôle
- 8 convertisseur AC/DC Siemens SINAMICS (Tension AC 380- 480, courant AC 27 A, puissance 16 kW)
- Stratégie de contrôle implémentées : Contrôle en tension, contrôle en puissance et contrôle PU
- SCADA avec calcul de flux de puissance intégré pour le contrôle de l'installation
- Un contrôleur de réseau basé sur LabVIEW



Figure 9 : Mini-réseau DC

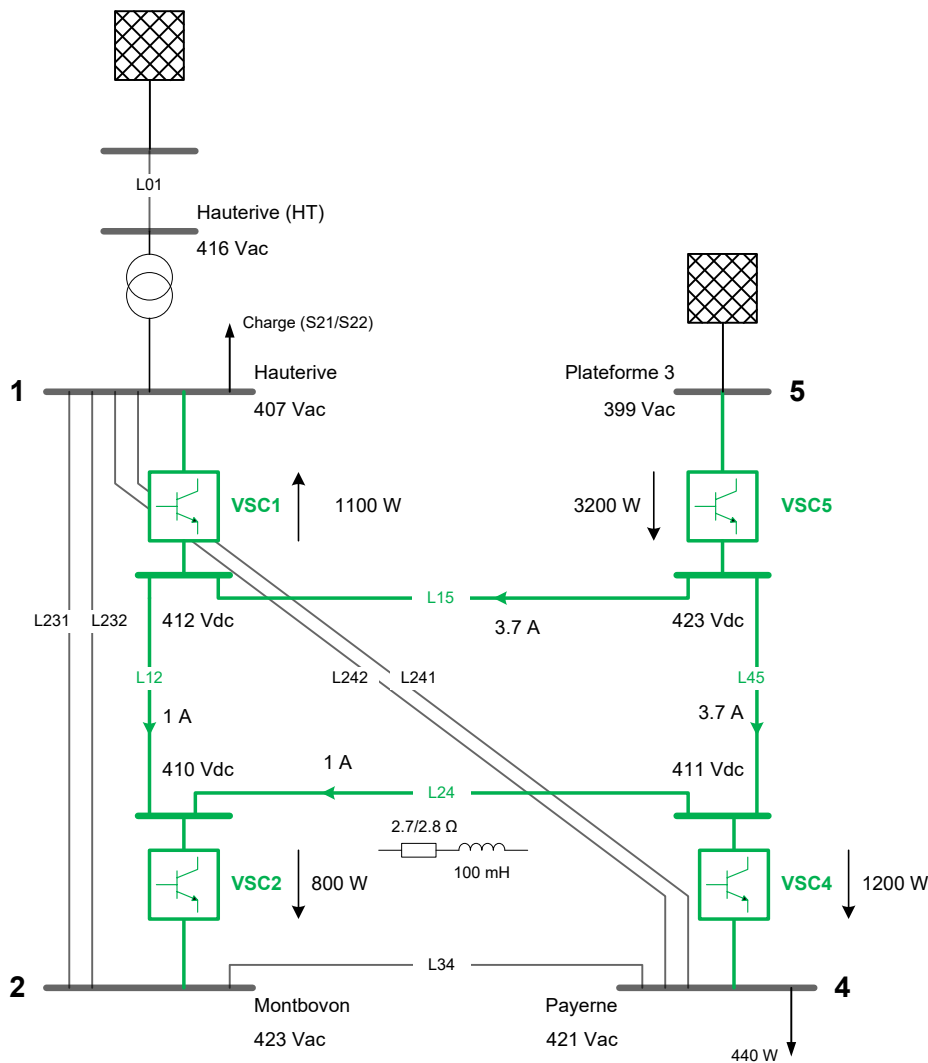


Figure 10 : Exemple de topologie avec interconnexions sur le mini-réseau AC

1.4 Installation PV

3 champs avec au total 1.5 kWp

Chaque champ composé de :

- 15 panneaux MSX 64 Solarex (polycristalin)
- 8.5 m²
- 240 VDC / 960 Wp
- $U_0 = 319.5$ V
- $I_{cc} = 4.1$ A

1.5 Mini-réseau BT

Il s'agit d'un émulateur analogique sous forme de deux maquettes construites dans deux armoires ayant comme caractéristiques :

- Facteur d'échelle de la puissance 1 : 7 [VA]
- 12 modèles des lignes avec différentes longueurs
 - 2 lignes à 100 m
 - 2 lignes à 50 m
 - 8 lignes à 10 m
- 10 modèles des câbles avec différentes longueurs
 - 1 câble à 100 m
 - 4 câbles à 50 m
 - 5 câbles à 20 m
- 2 alimentations DC de 10.5 kW
- 2 convertisseurs AC/DC de 8 kW capable de communiquer en CEI 61850
- 1 transformateur de 100 kVA
- 10 smartmeter Kamstrup

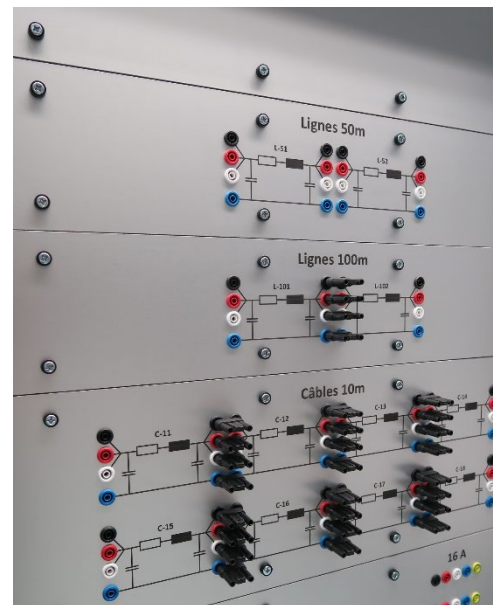
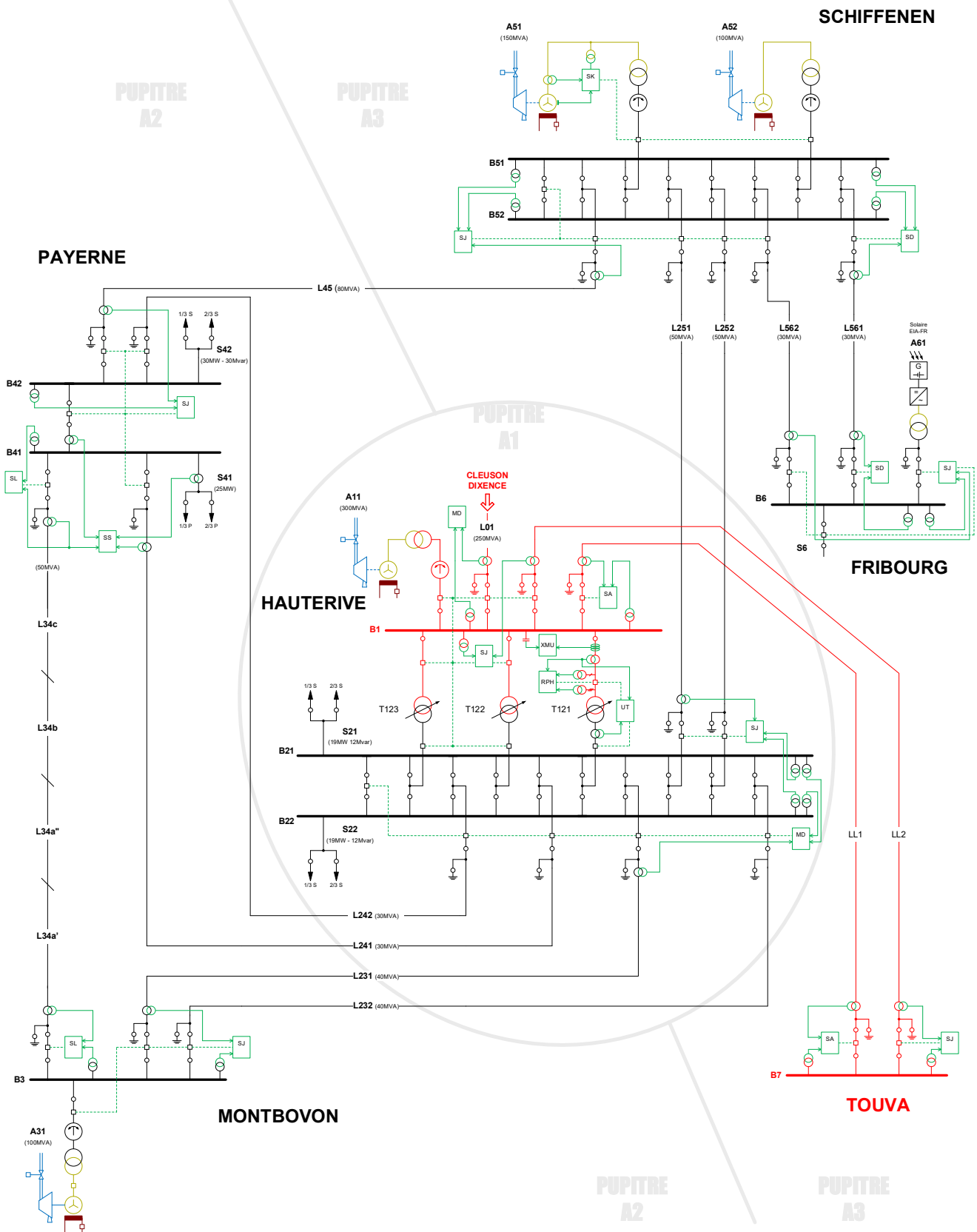


Figure 11 : Mini-réseau BT

2 Annexe



Contact: Patrick Favre-Perrod, patrick.favre-perrod@hefr.ch, +41 26 429 65 88