

**HOSPICES CIVILS
DE LYON**

MICHEL
RÉMON
& ASSOCIÉS

ARCHITECTE MANDATAIRE
6 CITE DE L'AMEUBLEMENT
75011 PARIS
Tel. 01 45 86 11 55
michel.remon@remon.fr

VK STUDIO

BRUGSESTEENWEG 210
8800 ROESELARE (BELGIQUE)
Tel. 32 51 26 20 20

OTE INGENIERIE

1 RUE DE LA LISIÈRE-BP 40110
67403 ILLIKIRCH CEDEX
Tel. 03 88 67 55 55

GBA & CO

7 RUE PABLO PICASSO , CS 70626
42041 SAINT-ETIENNE CEDEX
Tel. 04 77 93 08 90

ICADE PROMOTION

27 RUE CAMILLE DESMOULINS
92445 ISSY LES MOULINEAUX CEDEX
Tel. 01 41 57 70 00
Fax 01 41 57 80 00

PROLOGUE CONSEIL

24 AVENUE DE VERDUN
92270 BOIS-COLOMBES
Tel. 01 42 42 26 59

OTELIO

52 RUE DU PRUNIER
68000 COLMAR
Tel. 03 89 41 23 74

L'ATELIER A/S MARGUERITE

PAYSAGISTE / URBANISTE
9 RUE DE LA PALISSADE
34000 MONTPELLIER
Tel. 04 67 58 67 07

ANTEA GROUP

2/6 PLACE DU GÉNÉRAL DE GAULLE
92160 ANTONY
Tel. 01 57 63 14 00

ARIANE SIGNALÉTIQUE

44 CHEMIN DES PRÉS-ZA DU MAUPAS
69620 THEIZE
Tel. 04 78 95 27 27

AVLS

18 RUE CHARLES DE GAULLE
91400 ORSAY
Tel. 01 64 46 08 08

PHASE

EXE

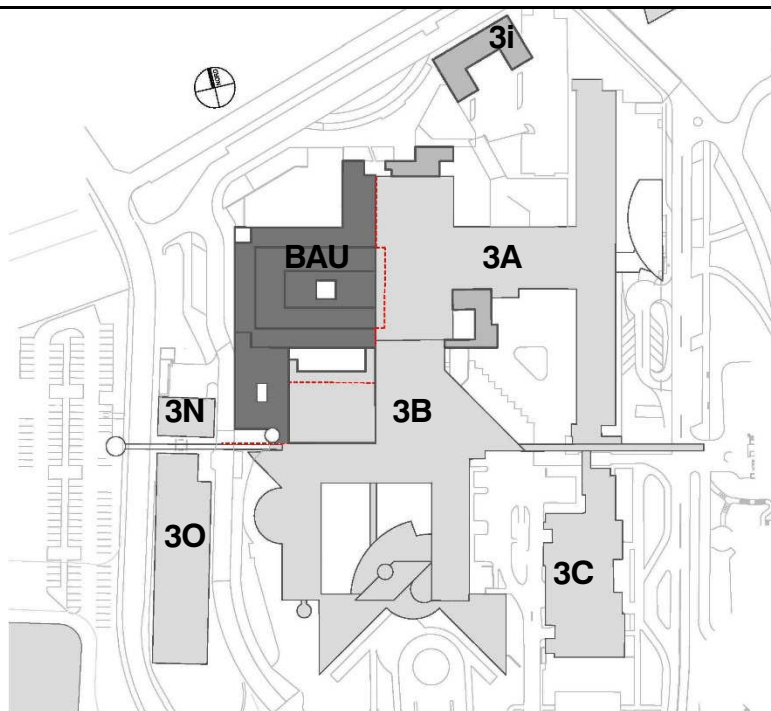
BAUREALS- Blocs opératoires, Accueil des Urgences, Réanimation, Lyon Sud

MAITRE D'OUVRAGE

Hospices Civils de Lyon

3 quai des Célestins 69229 LYON CEDEX 02

Tel. 04 72 11 70 17



MAJ du document suite Visa	EXE	C	29/08/2024
MAJ du document suite Visa	EXE	B	07/06/2024
Création du document	EXE	A	28/11/2023
DESIGNATION	PHASE	Ind	DATE

EMETTEUR

LOT 11 - COTE SAS

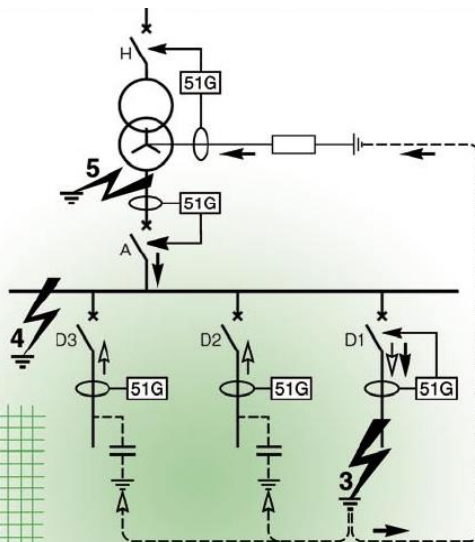
C
CÔTE

TITRE

Etude de Sélectivité et de protection HTA

AFFAIRE N° n°1910	ECHELLE 1/XXX	DATE AOUT 2024
-----------------------------	-------------------------	--------------------------

CODE OPERATION	NUMERO	IND	PHASE	EMETTEUR	LOT	SPECIALITE	TYPE	NIVEAU	ZONE
360294	0430	C	EXE	COT	11.1	CFO	DET	TN	TZ



Schneider
Electric

l'expertise électrique à votre service

- sélectivité des protections
- sûreté de fonctionnement
- dimensionnement harmonique
- démarrage de moteur
- architecture de distribution
- désensibilisation aux creux et coupures
- calculs de disponibilité
- simulations de transitoires
- étude préalable risque foudre
- audits appareillage & réseau...

C
CÔTE

HCL
HOSPICES CIVILS
DE LYON

ETUDE DE SELECTIVITE

Réseau HTA

POWER SYSTEM
CADE AURA
AGENCE LYON – SAINT PRIEST

Nb de pages : 47

Date d'émission	Ind	Etudié par	Vérifié par	Approuvé par
29/08/2024	B	JP COUSIN	F DELPLACE	JP GRACIA
04/06/2024	A	JP COUSIN	F DELPLACE	JP GRACIA

Table des matières

TABLEAU DE MISE A JOUR.....	3
CONCLUSIONS	3
1- OBJET DU DOCUMENT.....	4
2- DOCUMENTS & DONNEES.....	4
3- PRESENTATION DU RESEAU	5
4- CONTRAINTES DU PLAN DE PROTECTION	7
4.1 PROTECTION C13-100.....	7
4.2 MULTIPLICITE DES SOURCES D'ALIMENTATION.....	9
4.3 ENCLenchement DES TRANSFORMATEURS	10
4.4 SELECTIVITE AMPEROMETRIQUE ENTRE DEUX NIVEAUX DE TENSION DISTINCTS	14
4.5 DECLenchement INTempestif DES PROTECTIONS 51N PAR SYMPATHIE.....	15
4.6 PROTECTION DES ENROULEMENTS PRIMAIRES TRANSFORMATEURS	17
5- PRINCIPES SELECTIVITE SUR COURT-CIRCUIT	18
5.1 FONCTIONNEMENT SUR ENEDIS ALIMENTATION PRINCIPALE	18
5.2 FONCTIONNEMENT SECOURS CENTRALE AVEC BOUCLE & ANTENNES	20
5.3 FONCTIONNEMENT SECOURS CENTRALE AVEC ANTENNES.....	22
6- PRINCIPES SELECTIVITE SUR DEFAUT TERRE	24
6.1 FONCTIONNEMENT SUR ENEDIS	24
6.2 FONCTIONNEMENT SUR CENTRALE GROUPES.....	24
7- CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT	25
7.1 HYPOTHESES	25
7.2 SCHEMA DE MODELISATION	25
7.3 CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT	25
7.3.1 Fonctionnement sur ENEDIS NORMAL PL1 (boucle ouverte à son extrémité)	26
7.3.2 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec BOUCLE & ANTENNES (DGS2).....	28
7.3.3 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec ANTENNES (DGS1)	30
7.3.4 Fonctionnement ENEDIS SECOURS PL2 (boucle ouverte à son extrémité)	31
7.4 LIMITE THERMIQUE DES CABLES	32
8- TABLEAU DES REGLAGES PRECONISES.....	33
8.1 PROTECTIONS C13-100 NORMAL PL1 ET SECOURS PL2	33
8.2 PROTECTIONS DEPARTS BOUCLE ET POSTE ANTENNE SECOURS	34
8.3 POSTE CENTRALE	35
8.4 POSTE T12	36
8.5 DETECTEURS DE DEFAUTS DANS LES POSTES DE TRANSFORMATION.....	36
8.6 POSTE DE TRANSFORMATION	37
9- GRAPHE DE SELECTIVITE.....	38
9.1 SUR COURANT DE COURT-CIRCUIT	38
<i>Courbe 1 : Alimentation ENEDIS - Icc mini sur boucle 20kV et enclenchement des transformateurs.....</i>	<i>38</i>
<i>Courbe 2 : Alimentation ENEDIS - Icc mini en amont transformateur HT/BT poste T14.....</i>	<i>39</i>
<i>Courbe 3 : Alimentation via DGS2 - 5 GE – Icc mini en amont transformateur T14.....</i>	<i>40</i>
<i>Courbe 4 : Alimentation via DGS1 - 2 GE – Icc mini en amont transformateur T14 secours.....</i>	<i>41</i>

9.2 SUR COURANT DE DEFAUT HOMOPOLAIRE.....	42
<i>Courbe 5 : Alimentation ENEDIS - Io sur boucle 20kV en amont transformateur T14.....</i>	<i>42</i>
<i>Courbe 6 : Alimentation via DGS2 - 5 GE - Io en amont T14.....</i>	<i>43</i>
<i>Courbe 7 : Alimentation via DGS1 – 2 GE - Io en amont T14 Secours.....</i>	<i>44</i>
ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DU RESEAU	45
ANNEXE 2 : SCHEMA DE MODELISATION.....	48

TABLEAU DE MISE A JOUR

Indice /date	Rédacteur	Origine et désignation de la modification
B – 29/08/2024	Cousin	Prise en compte des observations du VISA MOE sur l'étude de sélectivité HTA
A – 04/06/2024	Cousin	Edition originale

CONCLUSIONS

L'évolution du poste T14 n'a pas d'impact direct sur le plan de protection en place.
Les seuils et temporisations des différentes protections peuvent être reconduits.

En revanche, l'augmentation de la puissance des transformateurs installés accroît le phénomène de saturation des TC C13-100 lors de la mise sous tension des transformateurs HT/BT du site et donc le risque de sollicitation de la fonction 51N de la C13-100 et ce, malgré la dérogation de sa temporisation à 250ms (350ms en cas d'attente logique).

Aussi, nous préconisons, afin de se prémunir d'un tel risque, de remplacer la protection C13-100 par un relais permettant la fonctionnalité « validation de la fonction 51N par la fonction 59N », ou de réaliser, si les services compétents d'ENEDIS l'autorisent, la mesure de défaut terre par des tores disposés sur les arrivées « simple antenne » de chacun des postes.

Le calibre des Transformateurs de Courant des protections générales C13-100 et des départs de boucle est de 400A.

Il conviendra de comparer cette valeur au courant consommé par la future boucle et prévoir, le cas échéant, le remplacement des TC par des TC avec un calibre plus élevé (600A).

1- OBJET DU DOCUMENT

Schneider Electric (Centre d'Application Distribution Electrique de Lyon), dans le cadre de la rénovation des installations électriques de l'hôpital de LYON SUD, a pour mission la réalisation d'une étude de sélectivité des protections associées aux matériels de distribution électrique HTA des postes 20kV.

L'objectif de la sélectivité est de déconnecter, le plus rapidement possible du réseau, le récepteur ou le départ en défaut, et seulement celui-ci, en maintenant sous tension toutes les parties saines du réseau.

Le but de cette note est de décrire, pour la configuration de fonctionnement finale avec l'ensemble des transformateurs HT/BT en service, les principes de sélectivité adoptés avec leurs incidences sur l'intervention des dispositifs de protection suivant la localisation du défaut.

La coordination des protections peut être assurée par différents types de sélectivité dont :

- Sélectivité ampèremétrique (par les courants) basée sur le fait que le courant de défaut est d'autant plus faible qu'il est éloigné de la source.
- Sélectivité chronométrique (par les temps) qui attribue des temporisations différentes aux protections à maximum de courant le long du réseau ; ces temporisations sont d'autant plus longues que la protection est plus proche de la source.
- Sélectivité logique (par échange d'information entre protections) ; une protection sollicitée par un courant de défaut provoque le déclenchement du disjoncteur associé si elle n'a pas reçu d'ordre d'attente logique ; elle émet un ordre d'attente logique à destination de la protection directement en amont.

La sélectivité des protections est conditionnée par le maintien des équipements en bon état de fonctionnement (aptitude des disjoncteurs à l'ouverture) via une maintenance préventive respectant les recommandations des constructeurs d'équipements.

2- DOCUMENTS & DONNEES

Les documents disponibles pour l'analyse sont :

- Schéma unifilaire sans référence établi par JV/MV le 27/11/2009 modifié le 07/06/2011
- Schéma unifilaire « Réseau 20kV : Distribution HTA / Transformation » référence 360294/0305 indice D du 13/02/2024
- Synoptique HT-BT Bâtiment 3A n°360294/1561/A/DCE/OTE/-/CFO/SC/TN/3A indice A
- Etude de sélectivité HTA SPIE/AFCIE référence 205835-200 – affaire 205835 du 20/12/2010

Les caractéristiques utiles pour la modélisation du réseau sont détaillées en annexe 1.

3- PRESENTATION DU RESEAU

En fonctionnement normal, le site est alimenté en simple antenne par ENEDIS au niveau du poste PL1 ([ALIMENTATION PRINCIPALE depuis OULLINS P027](#)).

Un deuxième poste de livraison PL2 ([ALIMENTATION de SECOURS EDF depuis BELLE ETOILE P052](#)) permet, en cas de perte tension [ALIMENTATION PRINCIPALE](#) ou d'indisponibilité de PL1, de réalimenter le site par une autre antenne d'ENEDIS moyennant des manœuvres manuelles.

PL1 alimente :

- Une boucle exploitée ouverte composée de 9 postes de transformation via 2 disjoncteurs tête de boucle DB1 raccordé sur PL1 et DB16 raccordé sur PL2.
- Un poste de répartition T12, via DB19, sur lequel sont raccordés des antennes secours alimentant des transformateurs secours implantés dans chaque poste et totalement indépendants de la boucle.

Sur perte tension ENEDIS NORMAL (ou ENEDIS SECOURS lorsque le site est alimenté par le poste PL2), une centrale de SECOURS composée de 6 groupes réalimente le site.

Selon le nombre de groupes disponibles, deux modes de reprise par la centrale sont possibles :

- Si au moins 5 GE disponibles : Réalimentation de la boucle et des antennes secours via DGS2 – IGB au niveau de PL2
- Si moins de 5 GE disponibles : Réalimentation des antennes secours uniquement via DGS1. [La configuration minimale dans ce mode de fonctionnement est 2 groupes en marche](#)

La reprise du site par la centrale n'est pas réalisée par un couplage à l'arrêt.

L'armoire synchro demande le démarrage des groupes disponibles. L'automate groupe dédié gère le démarrage de chaque groupe. Les groupes sont excités pour une montée en tension. Ils fonctionnent alors à vide sur le jeu de barres de la centrale, avant la fermeture de DGS1 ou DGS2.

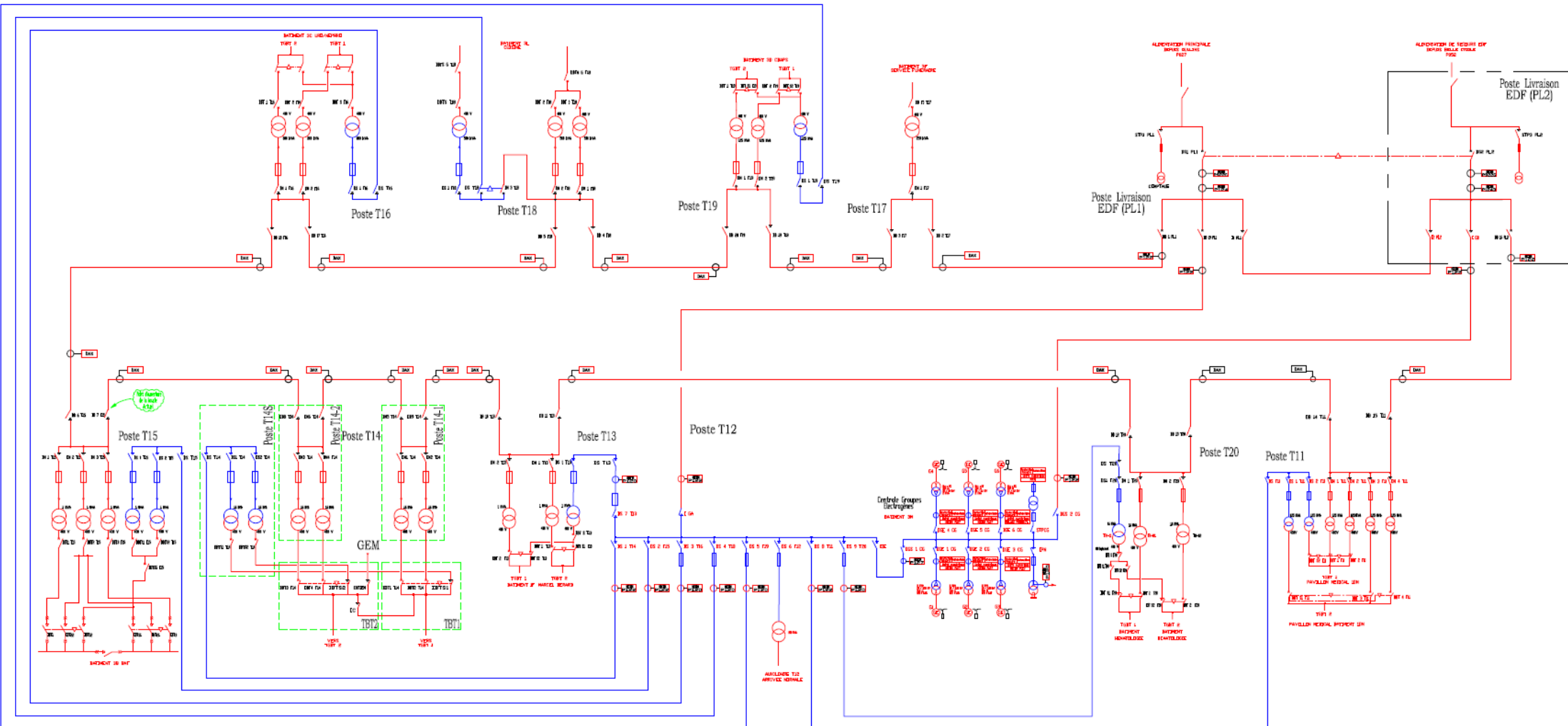
Lors d'un retour tension ENEDIS (NORMAL ou SECOURS), le basculement sur ENEDIS est réalisé sans coupure via un couplage fugitif de la centrale avec ENEDIS.

De même, à la suite d'un basculement de PL1 vers PL2, un retour sur PL1 est réalisé, sur demande de l'opérateur, par un couplage fugitif de la centrale pour éviter une coupure de l'alimentation du site.

Un reconfigurateur automatique de boucle type PACiS permet, en cas de défaut sur un des câbles constituant la boucle principale suivi du déclenchement d'un des départs de boucle DB1 ou DB16, d'isoler le câble en défaut par ouverture des tenant et aboutissant, puis de refermer le disjoncteur départ de boucle et enfin de refermer l'ancien point d'ouverture de la boucle, afin de pouvoir réalimenter l'ensemble des postes de transformation « normaux » du site.

La localisation des défauts est uniquement réalisée sur la fonction 51N. Le seuil de détection (10A-60ms) est commun aux 2 configurations d'alimentation ENEDIS et Centrale via DGS2.

La temporisation des détecteurs de défaut est compatible avec la temporisation des protections déclenchantes afin de permettre la localisation par le reconfigurateur avant élimination du défaut.



HCL LYON SUD BAUREALS
ETUDE DE SELECTIVITE _ version A

4- CONTRAINTES DU PLAN DE PROTECTION

4.1 Protection C13-100

La principale contrainte vis-à-vis du plan de protection est l'imposition par le distributeur d'énergie de seuils de réglages conformes à la NFC13-100.

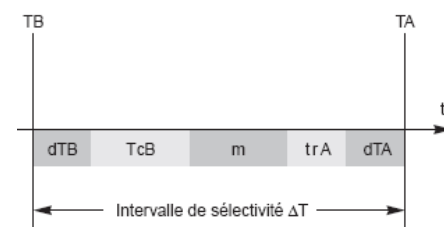
Comme le distributeur impose une élimination du court-circuit en au plus 200ms, la mise en œuvre d'une sélectivité chronométrique avec les protections par relais indirects situés en aval ne permet pas d'assurer une sélectivité totale.

En effet, le principe de la sélectivité chronométrique est le suivant :

Les protections échelonnées le long du réseau d'un même niveau de tension sont équipées de temporisations d'autant plus longues qu'elles sont plus proches de la source.

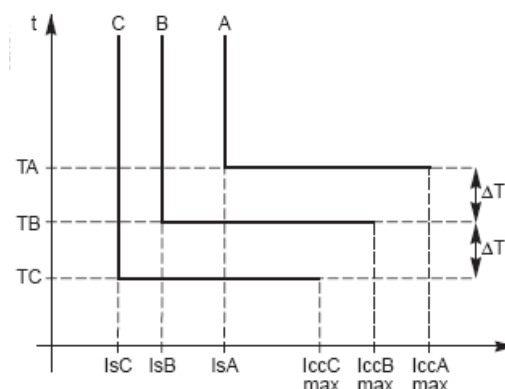
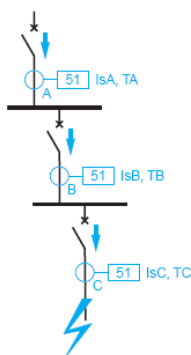
La différence des temps de fonctionnement Δt entre 2 protections successives est l'intervalle de sécurité. Cet écart tient compte :

- Du temps de coupure du disjoncteur aval (T_{cB})
- Des tolérances de temporisations dt (dTB & dTA)
- Du temps de mémoire de la protection amont (trA)
- D'une marge de sécurité (m)



Compte tenu des performances de l'appareillage et des relais, on adopte pour Δt une valeur usuelle de :

- **300ms** entre relais analogiques
- **250ms** entre relais numériques anciens (type SEPAM 2000)
- **150 à 200ms** entre relais numériques récents (type MiCOM ou SEPAM S20, S40, S80)



Ce système de sélectivité a l'avantage d'être simple et d'assurer son propre secours : si la protection aval est défaillante, la protection amont est activée Δt plus tard.

En revanche, lorsque le nombre de relais en cascade est grand, on aboutit à un temps d'élimination de défaut élevé et contraignant vis-à-vis de la tenue des matériels aux courts-circuits.

De plus, l'imposition d'une élimination de défaut par la protection générale en au plus 200ms, ne permet même pas de disposer d'un étage de protection inférieur, sélectif chronométriquement.

Pour pallier cela, le dispositif de protection générale peut être équipé de deux temporisations :

- Une première, réglée pour l'élimination du courant de court-circuit en 200ms, qui est verrouillée lorsque ce courant est également vu par une protection immédiatement en aval
- Une deuxième, non verrouillée, qui garantit l'élimination du courant de court-circuit en 300ms dans l'éventualité d'un fonctionnement incorrect des protections ou des disjoncteurs en aval.

Cette fonctionnalité est réalisée par le principe de la sélectivité logique :

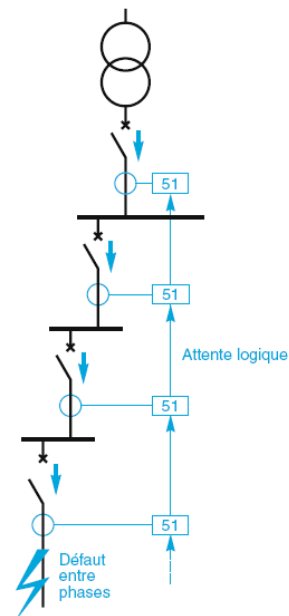
L'échange d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité, et réduit donc considérablement le retard de déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

En effet, dans un réseau en antenne, les protections situées en amont du point de défaut sont sollicitées, celles en aval ne le sont pas ; cela permet de localiser sans ambiguïté le point de défaut et le disjoncteur à commander.

Chaque protection sollicitée par un défaut envoie :

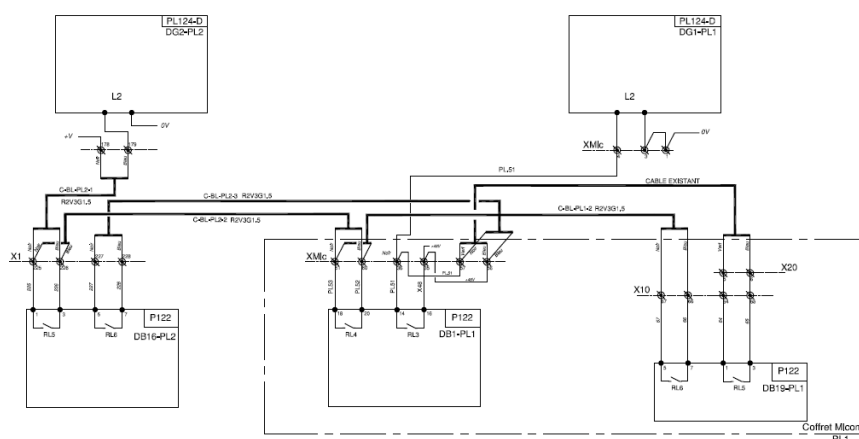
- un ordre d'attente logique à l'étage en amont (augmentation de la temporisation)
- un ordre de déclenchement au disjoncteur associé, sauf s'il a lui-même reçu un ordre d'attente logique de l'étage aval.

Ainsi, le temps de déclenchement est indépendant de la position du défaut dans la cascade de sélectivité, et du nombre de protections en cascade.



Ce dispositif nécessite la transmission des signaux logiques entre les différents étages de protection, donc l'installation de fileries supplémentaires. Cette contrainte est forte lorsque les protections sont éloignées, par exemple dans le cas de liaisons de plusieurs centaines de mètres.

Dans le cas présent, les liaisons logiques ne concernent que des liaisons inter-cellules entre les DM1 des postes PL1 & PL2 et les cellules DM2 C13-100 de ces mêmes postes.



Concernant la temporisation augmentée de la C13100, elle doit être supérieure de 150ms à la temporisation des départs boucle. Ces derniers étant préconisés à 100ms (afin d'assurer la sélectivité chronométrique avec les fusibles HTA), la temporisation du seuil secours devra être réglée à une valeur minimale de 250ms.

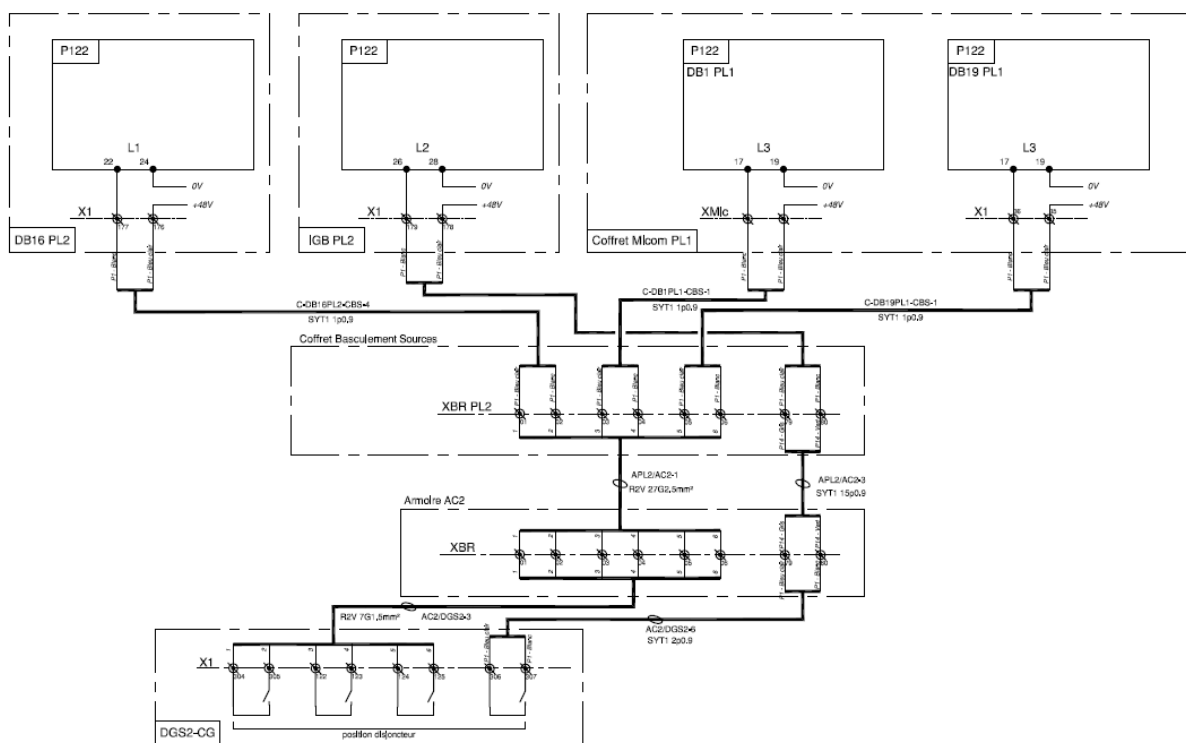
ENEDIS a accordé une dérogation aux HCL pour la temporisation des fonctions 51 & 51N de la protection C13-100 : la temporisation sans ordre d'attente logique est réglée à 250ms et celle avec ordre d'attente logique à 350ms.

4.2 Multiplicité des sources d'alimentation

La boucle 20kV peut être alimentée par 4 sources distinctes :

- ENEDIS « normal » depuis le poste PL1
- ENEDIS « secours » depuis le poste PL2
- SECOURS CENTRALE avec BOUCLE & ANTENNES
- SECOURS CENTRALE avec ANTENNES

Selon les configurations d'alimentation (ENEDIS ou Centrale), les relais associés aux disjoncteurs DB1, DB16 & DB19 et à l'interrupteur IGB, sont équipés de 2 jeux de réglages (Groupe 1 & Groupe 2) dont le basculement est géré par la position de DGS2 selon le principe schématisé ci-dessous :



4.3 Enclenchement des transformateurs

Lors de la mise sous tension des transformateurs, deux phénomènes sont à considérer afin de ne pas solliciter les seuils à maximum de courant phase (max I) et à maximum de courant terre (max Io) :

- Courant d'appel important dû à la magnétisation des transformateurs et possibilité de sollicitation de la protection max de I.
- Saturation des transformateurs de courant due à la composante continue du courant d'enclenchement et sollicitation par faux courant homopolaire de la protection max de I homopolaire mesurant le courant résiduel calculé sur la somme des trois TC.

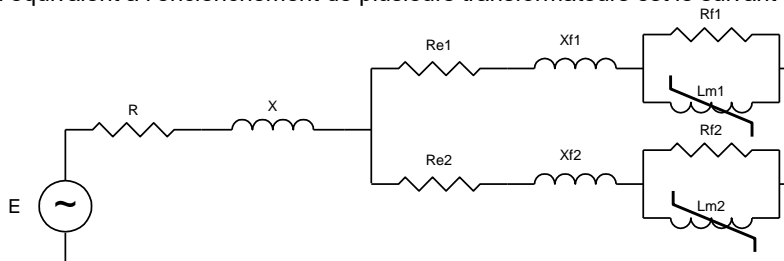
La mesure du courant homopolaire, lorsqu'elle est réalisée par tore, évite ce phénomène.

Le logiciel VerifTC de Schneider Electric permet de modéliser le comportement des TC sur enclenchements transformateurs, en fonction de leurs caractéristiques et de celles du réseau.

La simulation permet d'illustrer le risque de déclenchement intempestif lors de la magnétisation des transformateurs. Les valeurs de résultats ne sont données qu'à titre indicatif et ne peuvent pas être considérées comme contractuelles. La saturation des TC sur enclenchement transformateurs dépend en effet de nombreux paramètres aléatoires et difficilement modélisables

Nota : les valeurs de courants d'enclenchements tiennent compte de l'impédance de la source alors que les données constructeurs sont définies pour une puissance de court-circuit infinie. Les valeurs indiquées dans la suite du rapport sont donc inférieures aux valeurs que l'on obtiendrait par la somme des courants d'enclenchements spécifiés par le constructeur des transformateurs.

Le schéma équivalent à l'enclenchement de plusieurs transformateurs est le suivant :



- R, X: impédance de la source
- Re : résistance d'enroulement du transformateur
- Xf : réactance de fuite du transformateur
- Lm : inductance magnétisante du transformateur
- Rf : modélisation des pertes fer

Pour « n » transformateurs,

$$\hat{I}_{\max Tot} = \frac{2\sqrt{2}E}{X + \sum \hat{I}_{\infty n}}$$

Caractéristique réseau amont :

Tension d'alimentation : 20kV

Puissance de court-circuit réseau : **150MVA maxi**

Caractéristiques des transformateurs de courant :

	Marque	rapports	Puissance (VA)	Précision	Résistance secondaire (Ω)	Tension V_k (V)	Courant magnétisant (mA)
C13-100 NORMAL	MG M6B	200-400 / 5		10P10			
C13-100 SECOURS	SADTEM SW45	200-400 / 5-1	2.5	10P30	5.75	323	29

Rémanence des TC maxi

Résistance filerie+relais : 0.09 Ω (impédance des relais numériques faible)

La future puissance souscrite n'est pas connue. L'évolution du poste T14 engendre une augmentation de la puissance installée sur la boucle normale de 4400 kVA. Le calibre des TC C13-100 et départs de boucle sont de 400A. Selon la puissance réellement consommée par la future boucle, ce calibre pourra être réévalué à la hausse.

La puissance maximale pouvant être consommée par le site sera néanmoins limité par les câbles HTA constituant la boucle.

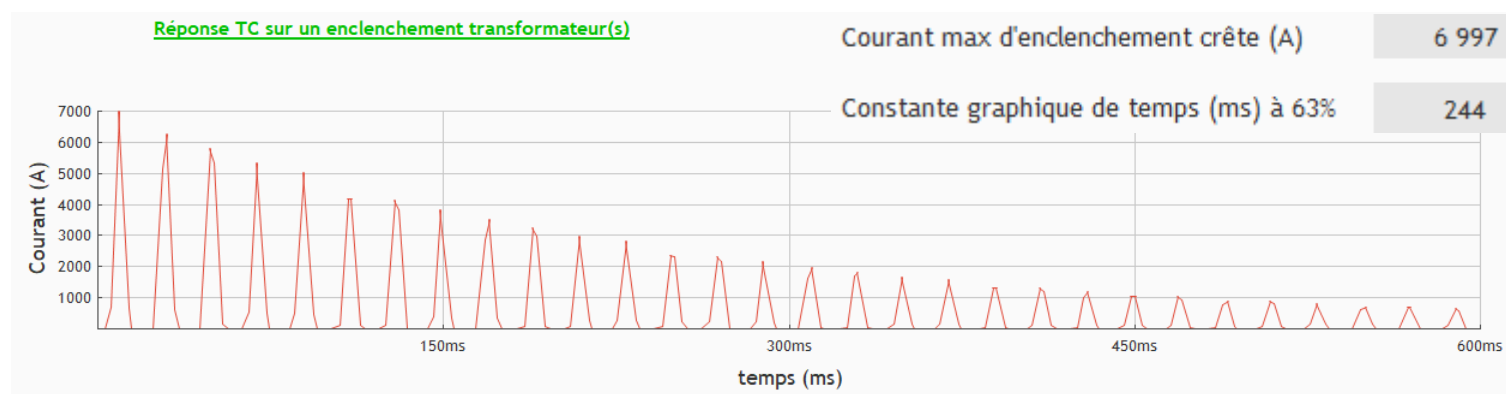
A titre d'information, le courant admissible dans les câbles unipolaires de 150 mm² Alu enterrés sous fourreaux s'élève à $325 \cdot 0.8 = 260A$.

Caractéristiques des transformateurs du réseau :

puissance	type	Quantité Boucle	Quantité Antennes	\hat{I}_e/\hat{I}_n	Constante temps
250	Huile	2		12	0.22
500	Huile	2	1	12	0.25
800	Huile	2	1	10	0.3
1000	Huile	5	3	10	0.35
1250	Huile	6	3	9	0.35
1600	Huile	2	1	9	0.4
1600	Sec	4	2	8.18	0.35
Puissance boucle	25200 kVA				
Puissance antennes	12850 kVA				
Puissance totale	38050 kVA				

Rémanence des transformateurs maxi.

Pointes des courants d'enclenchement vues par les protections C13-100



A $t=250\text{ms}$ (réglage de la temporisation C13100), le courant d'enclenchement atteint une valeur crête d'environ 2511A, soit un courant efficace de 1776A.

La conception des fonctions de protection à maximum de courant phase associées aux relais MiCOM est telle qu'ils fonctionnent sur valeur efficace et sont insensibles à la composante continue transitoire des courants d'enclenchement. Ceci permet donc de réduire les réglages de courant à 35% de la valeur crête du courant d'enclenchement potentiel d'un transformateur.

Ainsi, à $t=250\text{ms}$, la valeur réellement lue par le relais sera de 888A.

Le réglage de la protection à maximum d'intensité étant réglé à 3200 pour PL1 et 2900A pour PL2, il n'existe pas de risque de sollicitation intempestive de la protection C13-100 lors d'une remise sous tension de l'ensemble de l'installation.

Les départs boucle peuvent « voir » l'enclenchement de l'ensemble des transformateurs de la boucle au cas où celle-ci est ouverte à son extrémité ($i = 5501 e^{-t/245}$).

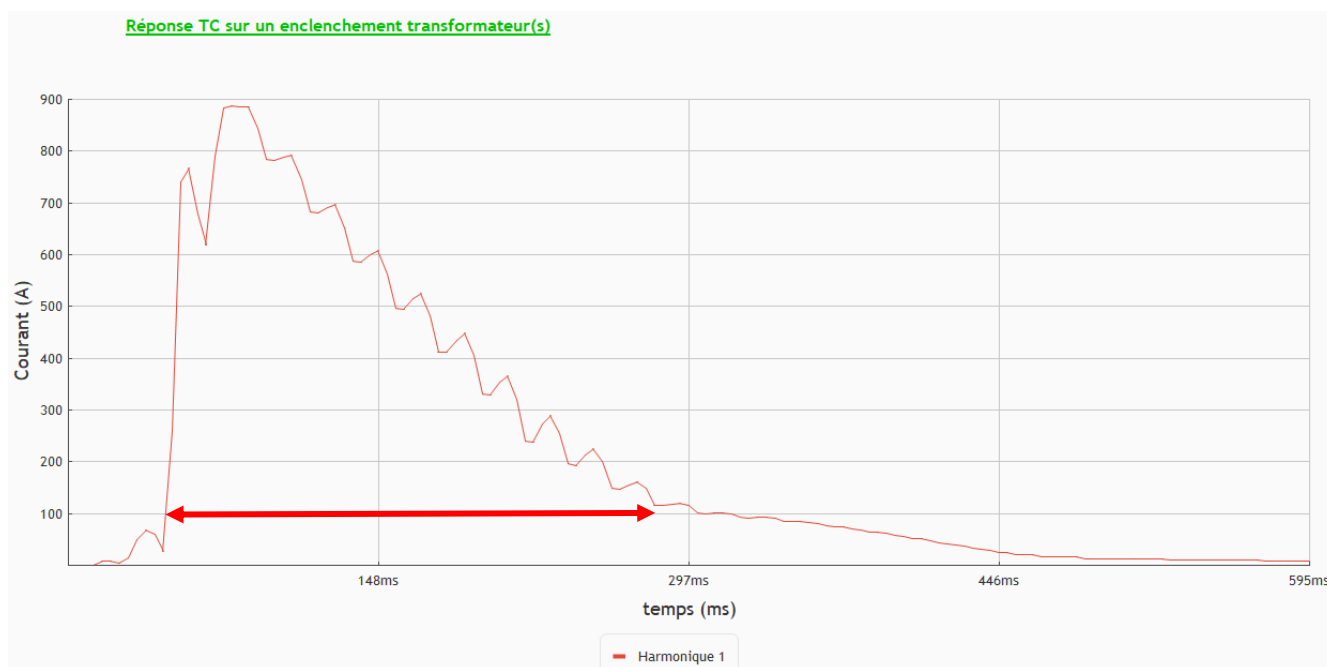
Dans ce cas, pour des départs boucle réglés à 100ms, le courant efficace peut atteindre une valeur efficace de 2586A. Les MiCOM des départs boucles ne verront que la moitié de cette valeur, soit 1293A.

Les départs boucle étant réglés à 2800A-100ms (voir §5.1), il n'existe pas de risque de leur sollicitation lors d'une mise ou remise sous tension de l'ensemble des transformateurs HT/BT.

L'enclenchement des transformateurs provoque également une saturation non symétrique des transformateurs de courant disposés sur la protection générale et génère ainsi un faux défaut homopolaire qui peut solliciter la protection générale C13-100 dont la protection homopolaire est réalisée sur somme des 3 TC.

La courbe correspondant à la somme des trois courants phases, générée par la saturation des TC à l'enclenchement, est représentée ci-dessous pour la C13-100 de PL2 (l'absence de données précises concernant les TC de PL1 ne permet pas de réaliser la simulation pour ce poste).

TC C13-100 SECOURS



Pendant 250ms, le faux défaut homopolaire généré par la saturation des TC peut atteindre, dans le cas le plus défavorable (rémanence des transformateurs maximale), une valeur proche de 100A !

Un réglage habituel à 12% du courant nominal des TC, soit 48A, peut paraître trop bas pour éviter tout risque de déclenchement intempestif, et ce malgré la dérogation accordée sur la temporisation de la fonction 51N.

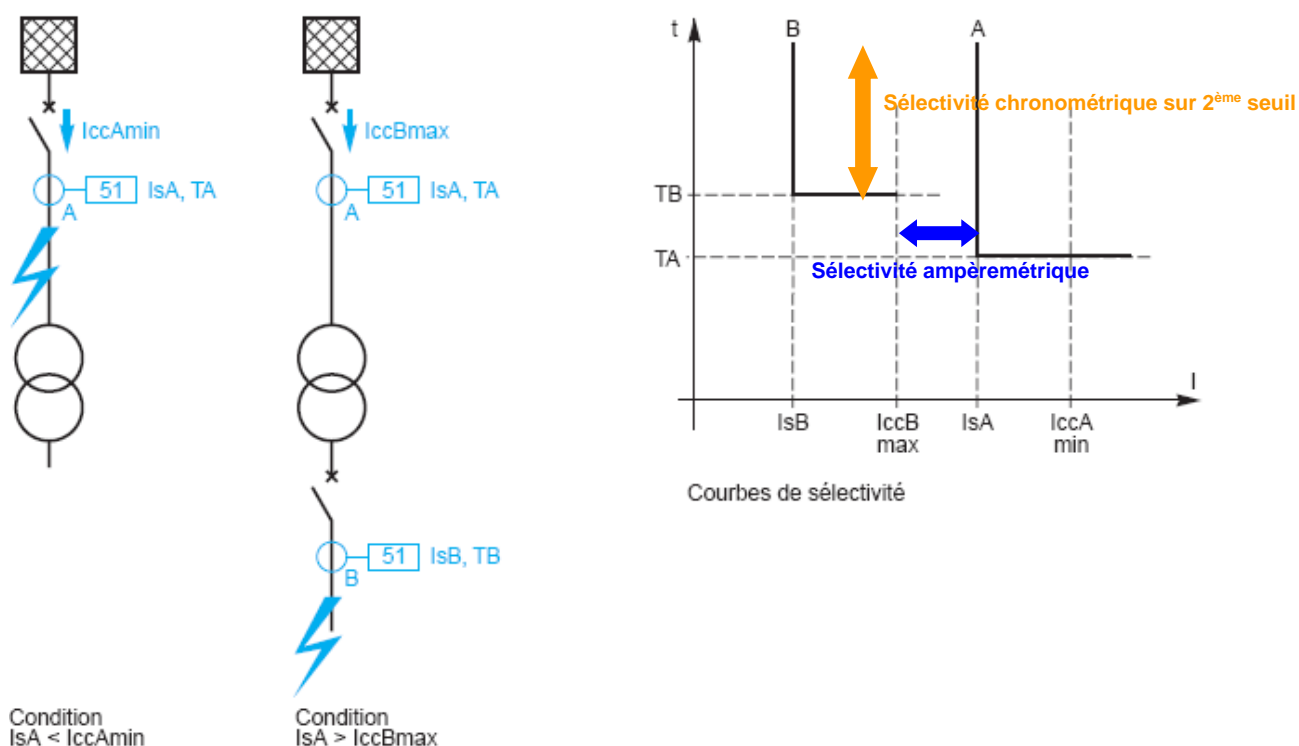
Afin de palier ce risque, il peut être envisagé différentes solutions :

- Chaque poste PL1 et PL2 étant alimenté en simple antenne, mesurer le courant de défaut terre par un tore disposé sur la cellule d'arrivée du poste
- Mettre en œuvre la fonctionnalité « validation de courant de défaut Io par la mesure de la tension résiduelle Vo ». Cette solution a déjà été mise en œuvre avec succès sur plusieurs sites. Elle nécessite le remplacement du relais C13-100 par un relais permettant cette fonctionnalité (SEPAM S48 ou P5F30).

4.4 Sélectivité ampèremétrique entre deux niveaux de tension distincts

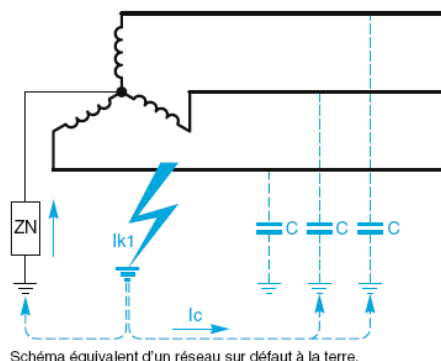
Dans la mesure du possible, il peut être intéressant d'établir une sélectivité ampèremétrique entre les protections disposées sur deux niveaux de tension distincts : réseau 20kV et réseaux BT

En effet, l'impédance interne des transformateurs peut permettre de discriminer un court-circuit aval d'un court-circuit amont. Ainsi, les protections disposées sur le réseau 20kV (C13100 et seuil haut (100ms) des départs de boucle) ne fonctionnent que pour les défauts situés sur le réseau 20kV et sont insensibles aux courts-circuits apparaissant sur les réseaux BT.



4.5 Déclenchement intempestif des protections 51N par sympathie

Le seuil en courant d'une protection doit être réglé de façon à être supérieur au courant capacitif maximum du départ concerné ($I_s > 1,3I_c$), afin d'éviter tout déclenchement intempestif par sympathie :



En effet, un courant de défaut à la terre se compose :

- D'un courant I_L , limité par le dispositif de mise à la terre au poste source
- De la somme des courants capacitifs I_{CT} des phases saines constituant le réseau

Ainsi, chaque départ sain est parcouru par un courant capacitif I_c susceptible de solliciter le seuil à maximum de courant terre si celui-ci est réglé trop bas.

Le courant capacitif pouvant circuler en aval d'une protection suite à un défaut terre extérieur au site de l'hôpital s'évalue :

$$I_c = 3 C L V \omega \text{ avec } \begin{array}{l} C : \text{capacité linéique des conducteurs} \\ L : \text{longueur totale des conducteurs} \\ V : \text{tension simple du réseau} \\ \omega : \text{pulsation du réseau } (2\pi f) \end{array}$$

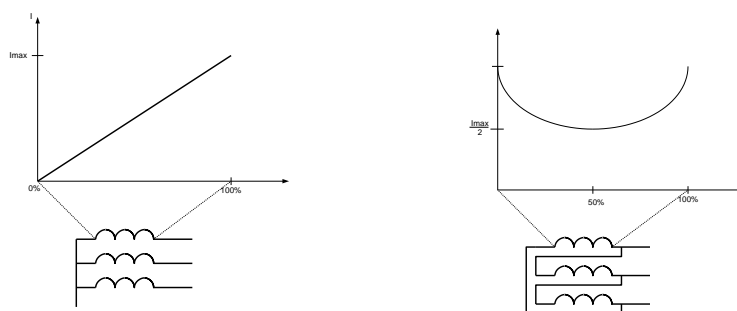
Boucle	Liaisons tenant	aboutissant	Nature	Section (mm²)	Capacité (*) (µF / km)	Ic / km (A/km)	Longueur (km)	Nbre cond	Ic (A)	
PRINCIPALE	PL1	T17	Alu	150	0,24	2,61	0,162	1	0,42	
	T17	T19	Alu	150	0,24	2,61	0,197	1	0,51	
	T19	T18	Alu	150	0,24	2,61	0,248	1	0,65	
	T18	T16	Alu	150	0,24	2,61	0,225	1	0,59	
	T16	T15	Alu	150	0,24	2,61	0,1	1	0,26	
	T15	T14	Alu	150	0,24	2,61	0,093	1	0,24	
	T14	T13	Alu	150	0,24	2,61	0,25	1	0,65	
	T13	T20	Alu	150	0,24	2,61	0,1	1	0,26	
	T20	T11	Alu	150	0,24	2,61	0,095	1	0,25	
	T11	PL2	Alu	150	0,24	2,61	0,65	1	1,7	
	Total BOUCLE									Total BOUCLE 5,53
ANTENNE	T12	T14	Alu	95	0,21	2,29	0,214	1	0,49	
	T12	T15	Alu	95	0,21	2,29	0,162	1	0,37	
	T12	T16	Alu	95	0,21	2,29	0,156	1	0,36	
	T12	T18	Alu	95	0,21	2,29	0,183	1	0,42	
	T12	T19	Alu	95	0,21	2,29	0,378	1	0,87	
	T12	T20	Alu	95	0,21	2,29	0,37	1	0,85	
	T12	T11	Alu	95	0,21	2,29	0,3	1	0,69	
	Total ANTENNE SECOURS									Total SECOURS 4,05
ANTENNE	PL1	T12	Alu	150	0,24	2,61	0,378	1	0,99	
ANTENNE	PL2	CENTRALE	Alu	150	0,24	2,61	0,35	1	0,91	
ANTENNE	CENTRALE	T12	Alu	150	0,24	2,61	0,015	1	0,04	
	TOTAL SITE									Total SITE 11,52

Le seuil des départs de boucle devra être supérieur à $1,3 \cdot I_c$, soit 7.2A

4.6 Protection des enroulements primaires transformateurs

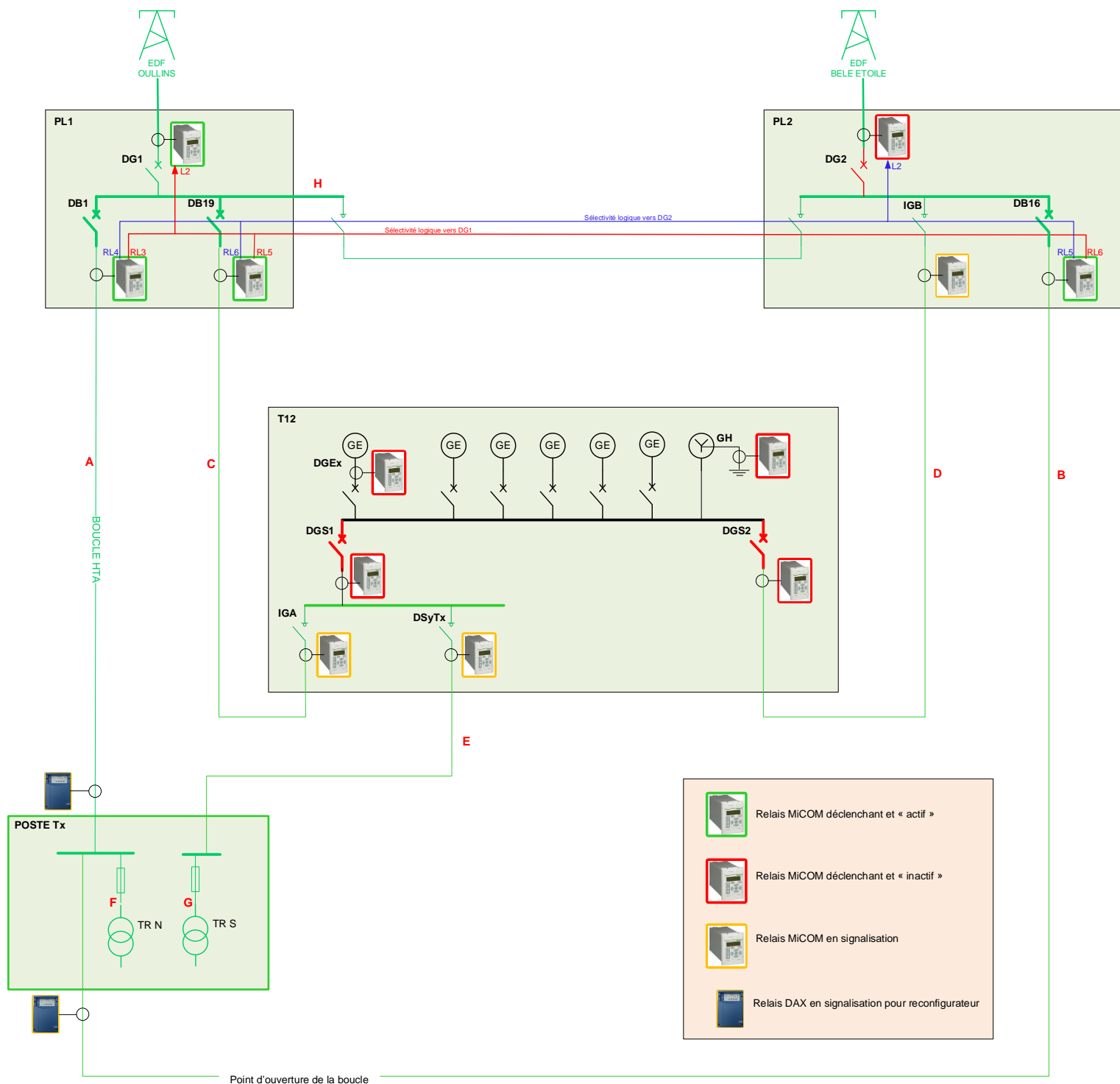
Les primaires des transformateurs HT/BT sont couplés en triangle. Ainsi, 100% des enroulements seront protégés contre un éventuel courant de défaut phase-terre interne au transformateur dès lors que la valeur de réglage est inférieure à $IL/2A$ (soit 500A pour un défaut limité à 1000A sur alimentation PL1, 150A pour un défaut limité à 300A sur alimentation PL2 et 25A pour un défaut limité à 50A sur alimentation par groupe).

Courant de défaut en fonction de la position de défaut sur l'enroulement :



5- PRINCIPES SELECTIVITE SUR COURT-CIRCUIT

5.1 Fonctionnement sur ENEDIS ALIMENTATION PRINCIPALE



Défaut	Protection Sollicité	Sélectivité	Protection déclenchante	Conséquences
A	DB1 DG1	Logique DB1 → DG1	DB1	Mise hors tension de la demi-boucle alimentée par DB1 Reconfiguration automatique de la boucle Réalimentation des postes de la boucle
B	DB16 DG1	Logique DB16 → DG1	DB16	Mise hors tension de la demi-boucle alimentée par DB16 Reconfiguration automatique de la boucle Réalimentation des postes de la boucle
C	DB19 DG1	Logique DB19 → DG1	DB19	Mise hors tension de la liaison PL1→T12 Perte de l'alimentation des transfos secours mais sans conséquences sur la continuité de service puisque la boucle est toujours alimentée
D	DG1		DG1	Mise hors tension site Localisation du défaut via relais associé à IGB Réalimentation des antennes par la centrale via DGS1 ?
E Antenne protégée par fusibles HT	Fusibles DB19 DG1	Logique DB19 → DG1	Fusibles	Mise hors tension de l'antenne en défaut Sans conséquences sur la continuité de service
E Antenne sans fusibles HT	DB19 DG1	Logique DB19 → DG1	DB19	Mise hors tension de la liaison PL1→T12 Perte de l'alimentation des transfos secours mais sans conséquences sur la continuité de service puisque la boucle est toujours alimentée
F	Fusibles HT DB1 DG1	Chrono Logique DB1 → DG1	Fusibles HT	Mise hors tension du transformateur NORMAL en défaut TGBT associé réalimenté par le transformateur SECOURS
G	Fusibles HT DB19 DG1	Chrono Logique DB19 → DG1	Fusibles HT	Mise hors tension du transformateur SECOURS en défaut TGBT associé alimenté par le transformateur NORMAL
H	DG1		DG1	Mise hors tension site Réalimentation des antennes par la centrale via DGS1 ou reconfiguration pour isolement de PL1 et réalimentation par PL2 ?

Les protections départs boucle (groupe 1) disposeront d'une fonction 51 avec un seuil haut en courant et une temporisation réglée à 100ms

Les seuils devront respecter les inégalités suivantes :

- $I_{CC\ MAXI\ BT} < I_{seuil} < I_{CC\ mini\ HT}$ soit **34660A_{410V} = 710A_{20kV}** $< I_{seuil} < 3310A_{20kV}$
 - 3310A = Icc2 en extrémité de boucle sur alimentation par PL2
 - 34660A = Icc3 au secondaire d'un transformateur de T14 alimenté par PL1
- $I_{enclenchement\ transfos} < I_{seuil}$ soit 1293A $< I_{seuil}$ (voir §4.3)
- $I_{seuil} < 0,8 I_{seuil\ C13-100}$ soit $I_{seuil} < 3260 \cdot 0.8 = 2608A$ pour PL1
soit $I_{seuil} < 2900 \cdot 0.8 = 2320A$ pour PL2

Le seuil est réglé à 2800A.

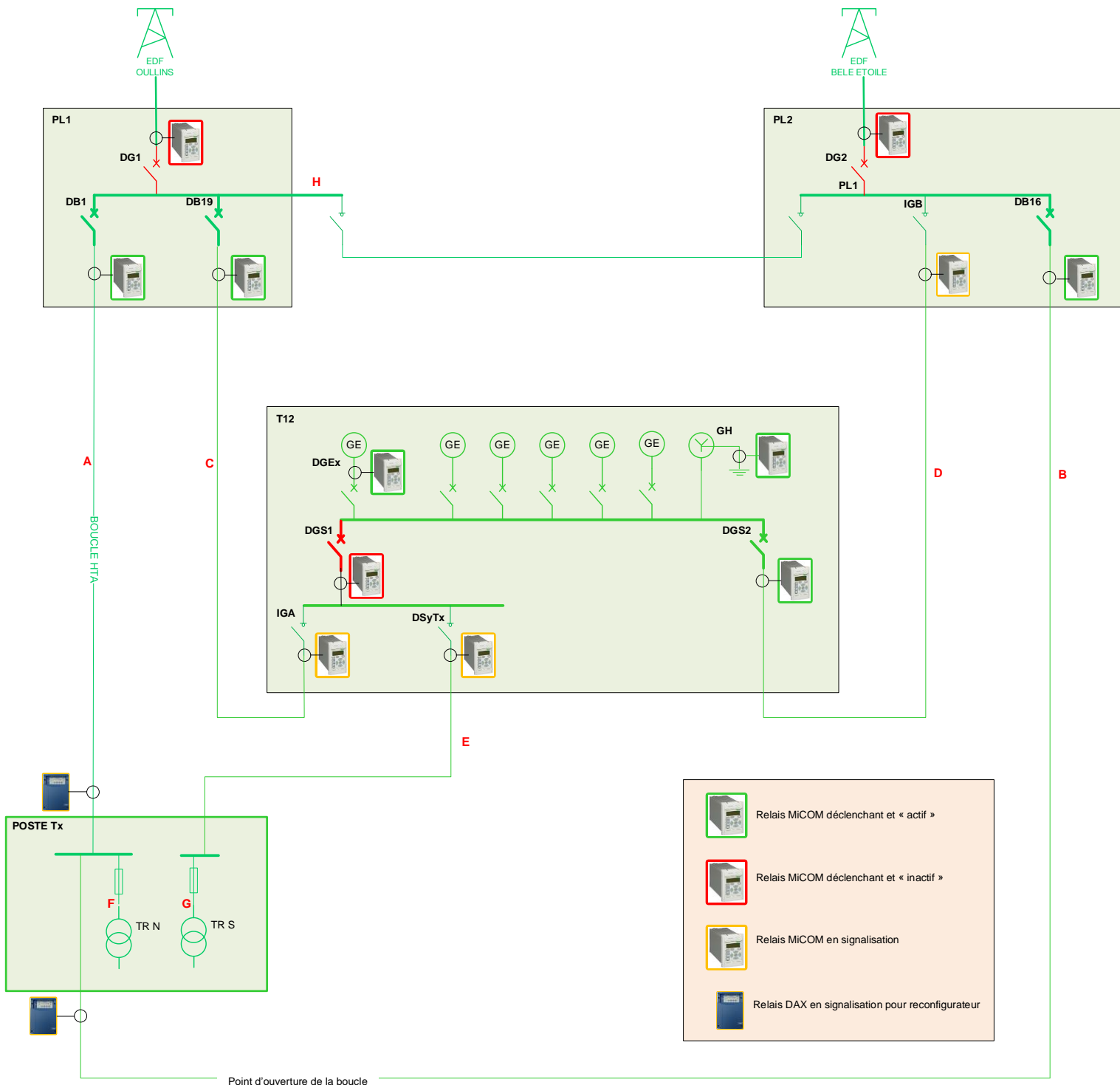
Ce seuil est donc :

- Sensible au plus petit court-circuit apparaissant sur le réseau 20kV.
- Insensible à tout courant de court-circuit se produisant sur les réseaux BT (sélectivité ampèremétrique).
- Inférieur au seuil des fonctions C13-100 mais sans marge de 20%

La temporisation de 100ms permet la sélectivité chronométrique avec les fusibles HTA.

La sélectivité avec la protection C13-100 est assurée par sélectivité logique.

5.2 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec BOUCLE & ANTENNES



Nota : ce schéma de principe est valable pour un fonctionnement sur 5 ou 6 groupes.

Défaut	Protection Sollicité	Sélectivité	Protection déclenchante	Conséquences
A	DB1 DGS2 DGEx	Chrono Chrono	DB1	Mise hors tension de la demi-boucle alimentée par DB1 Reconfiguration automatique de la boucle Réalimentation des postes de la boucle
B	DB16 DGS2 DGEx	Chrono Chrono	DB16	Mise hors tension de la demi-boucle alimentée par DB1 Reconfiguration automatique de la boucle Réalimentation des postes de la boucle
C	DB19 DGS2 DGEx	Chrono Chrono	DB19	Mise hors tension de la liaison PL1→T12 Perte de l'alimentation des transfos secours mais sans conséquences sur la continuité de service puisque la boucle est toujours alimentée
D	DGS2 DGEx	Chrono	DGS2	Mise hors tension site Localisation du défaut via relais associé à IGB et DGS2 Réalimentation des antennes par la centrale via DGS1 ?
E Antenne protégée par fusibles HT	Fusibles DB19 DGS2 DGEx	Chrono Chrono Chrono	Fusibles Voir NOTA 1	Mise hors tension de l'antenne en défaut Sans conséquences sur la continuité de service
E Antenne sans fusibles HT	DB19 DGS2 DGEx	Chrono Chrono	DB19	Mise hors tension de la liaison PL1→T12 Perte de l'alimentation des transfos secours mais sans conséquences sur la continuité de service puisque la boucle est toujours alimentée
F	Fusibles HT DB1 DGS2 DGEx	Chrono Chrono Chrono	Fusibles HT Voir NOTA 1	Mise hors tension du transformateur NORMAL en défaut TGBT associé réalimenté par le transformateur SECOURS
G	Fusibles HT DB19 DGS2 DGEx	Chrono Chrono Chrono	Fusibles HT Voir NOTA 1	Mise hors tension du transformateur SECOURS en défaut TGBT associé alimenté par le transformateur NORMAL
H	DGS2 DGEx	Chrono	DGS2	Mise hors tension site Réalimentation des antennes par la centrale via DGS1 ?

Nota 1 : la configuration minimale pour ce mode de fonctionnement est de 5 groupes en marche. Le court-circuit établi sur le réseau HTA alimenté par 5 groupes de 2000 kVA est normalement suffisamment élevé pour solliciter tous les types de fusibles installés, notamment les fusibles FNw 24kV 63A de protection des transformateurs de 1600 kVA.

Sur alimentation par la centrale groupe, les valeurs de courant de court-circuit relativement faibles n'engendrent pas de contraintes fortes sur le temps d'élimination des défauts pour respecter les tenues thermiques des éléments du réseau. La sélectivité sera donc exclusivement du type chronométrique.

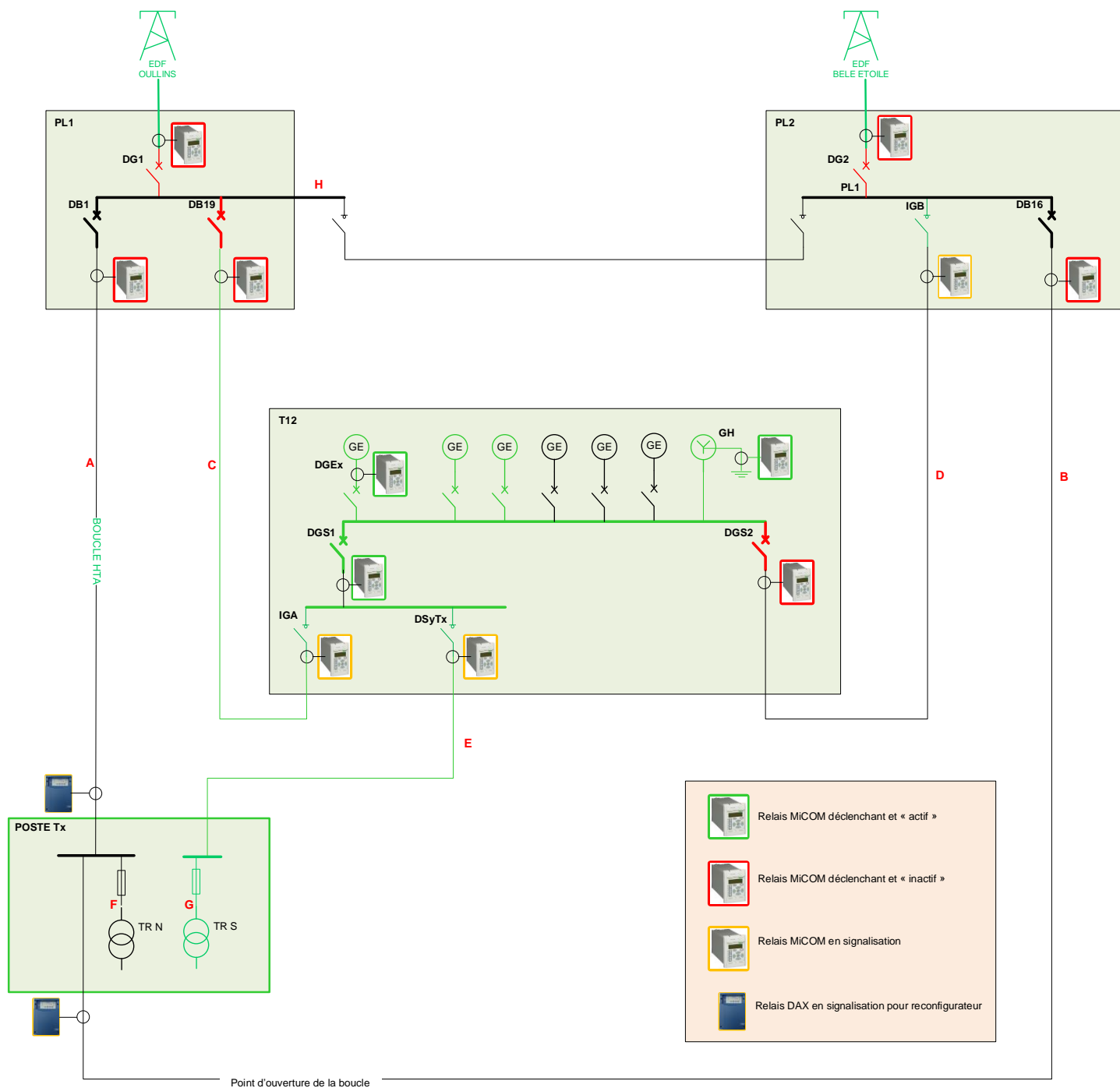
Le courant de court-circuit décroît rapidement avant de se stabiliser, via une surexcitation du groupe, à une valeur de $3I_n$.

Les valeurs de courant de court-circuit indiquées plus loin ont été calculées selon la norme CEI909. Le courant de court-circuit s'établissant sur le réseau 20kV peut aussi s'évaluer de la façon suivante :

$$I_{cc3} = U / \sqrt{3} * Z$$
Z étant l'impédance de la source constituée par 5 groupes de 2000 kVA fournissant au minimum $3I_n$ (voir courbe de décroissance du courant en sortie alternateur) et les 5 transformateurs élévateurs de 2000kVA de tension de court-circuit 6%.
Le courant de court-circuit triphasé estimatif sur la boucle s'élève alors à environ 735A.

Le relais à maximum de courant phase du disjoncteur général est réglé à 450A, sachant que le courant nominal équivalent à l'ensemble de la centrale s'élève à $6*57.7=346A$.
Les fonctions à maximum de courant phase des disjoncteurs DB1 & DB16 sont réglés 350A.

5.3 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec ANTENNES



Nota : ce schéma de principe est valable pour un fonctionnement sur 4, 3 ou 2 groupes.

Défaut	Protection Sollicité	Sélectivité	Protection déclenchante	Conséquences
E Antenne protégée par fusibles HTA	Fusibles DGS1 DGE _x	Chrono Chrono	Fusibles ou DGS1 Voir NOTA 1	Mise hors tension de l'antenne en défaut Ou Mise hors tension des antennes secours Perte d'alimentation site
E Antenne sans fusibles HTA	DGS1 DGE _x	Chrono	DGS1	Mise hors tension des antennes secours Perte d'alimentation site
G	Fusibles HT DGS1 DGE _x	Chrono Chrono	Fusibles HT ou DGS1 Voir NOTA 1	Mise hors tension de l'antenne en défaut Ou Mise hors tension des antennes secours Perte d'alimentation site

NOTA 1 : selon le nombre de groupes en marche, le court-circuit pourra ne pas être suffisamment élevé pour solliciter les fusibles HTA de protection des transformateurs SECOURS ou des départs d'antennes équipés.

6- PRINCIPES SELECTIVITE SUR DEFAUT TERRE

La valeur du courant de défaut diffère suivant la source d'alimentation :

- Fonctionnement sur ENEDIS : le courant de défaut terre correspond au courant de limitation à travers l'impédance de mise à la terre du neutre au poste source ENEDIS. Cette valeur est de 1000A sur PL1 et 300A sur PL2.
- Fonctionnement sur GROUPES : le courant de défaut terre est limité par le générateur homopolaire (50A). Afin de ne pas interférer avec les courants capacitifs des liaisons, cette valeur doit être supérieure à 2 fois le courant capacitif total du réseau ($I_L > 2 I_C$).

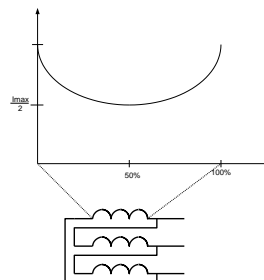
6.1 Fonctionnement sur ENEDIS

Le plan de protection est similaire au plan de protection contre les courts-circuits (sélectivité logique entre départs boucle et C13-100).

La limitation du courant de défaut à la terre étant de 1000A sur PL1 et 300A sur PL2, les fusibles HTA de faible calibre peuvent être sollicités en cas de défaut terre.

6.2 Fonctionnement sur CENTRALE GROUPES

Le courant de limitation est moindre et s'élève à 50 A.
Pour protéger les enroulements primaires des transformateurs HT/BT, le seuil de la protection à maximum de courant terre doit être telle que :
 $I_s < I_L / 2$, soit 25A.



La différence entre le plan de protection contre les courts-circuits et le plan de protection contre les défauts terre est la « source » du courant homopolaire, constituée non pas par les groupes mais par le générateur homopolaire. Ainsi,

- la protection associée au générateur homopolaire devient la « protection générale » sur défaut terre. Elle devra être sélective chronométriquement avec les protections situées en aval.
- la protection 51N des groupes associée au tore homopolaire placé sur les câbles avals des cellules de protection des groupes, n'est sollicitée que pour un défaut homopolaire situé sur cette liaison.

Une protection à 2 seuils associée au tore disposé sur la mise à la terre du générateur homopolaire sera mise en œuvre :

- Un seuil « protection générale » défaut terre sur le réseau interne de l'hôpital, sélectif chronométriquement avec les protections situées en aval (général GE, départs boucles, ...)
- Un seuil à temporisation longue « protection générateur homopolaire » réglé à une valeur inférieure au courant permanent admissible par le générateur

7- Calcul des courants de court-circuit

7.1 Hypothèses

Les caractéristiques des éléments du réseau sont définies en Annexe 1.

7.2 Schéma de modélisation

Voir Annexe 2. (la modélisation simplifie le réseau)

7.3 Calcul des courants de court-circuit

Les courants de courts-circuits sont calculés suivant la norme CEI-909.

Les courants calculés sont à leur niveau de tension respectif.

- Le courant de court-circuit maximal du réseau 20kV permet de définir les temps maximums d'élimination des courts-circuits pour respecter les contraintes thermiques des équipements.
- Le courant de court-circuit maximal des réseaux BT permet de définir le réglage minimal des protections disposées sur le réseau 20kV afin d'assurer une sélectivité ampèremétrique
- Le courant de court-circuit minimal du réseau 20kV permet de définir le réglage maximal des seuils des protections à maximum de courant phase disposées sur le réseau 20kV : Iréglage < 0.8 I_{cc} bi mini 20kV

7.3.1 Fonctionnement sur ENEDIS NORMAL PL1 (boucle ouverte à son extrémité)

Courts-circuits MAXI

Noeuds	I ^{''} k3(kA)	Ib3(kA)	Ik3(kA)	I ^{''} k2=Ib2(kA)	Ik2(kA)	I ^{''} k2E=Ib2E=Ik2E(kA)	I ^{''} k1=Ib1=Ik1(kA)
EXT CENTRALE	5.08	5.08	5.08	4.40	4.40	4.65	0.99
T12	5.08	5.08	5.08	4.40	4.40	4.65	0.99
AV_TR T17	9.13	9.13	9.13	7.91	7.91	7.91	0.00
AV_TR T14 1	34.65	34.65	34.65	30.01	30.01	30.01	0.00
AV_TR T14 S	34.81	34.81	34.81	30.15	30.15	30.15	0.00
AV_TR T18	18.80	18.80	18.80	16.28	16.28	16.28	0.00
AV_TR T14 2	34.66	34.66	34.66	30.01	30.01	30.01	0.00
T13	4.76	4.76	4.76	4.12	4.12	4.36	0.96
AV_TR T15 S	23.06	23.06	23.06	19.97	19.97	19.97	0.00
AM_TR T20 S	4.94	4.94	4.94	4.27	4.27	4.52	0.97
PL1	5.22	5.22	5.22	4.52	4.52	4.78	1.00
AV_TR T19	28.18	28.18	28.18	24.40	24.40	24.40	0.00
EXT_BO DB16	4.48	4.48	4.48	3.88	3.88	4.11	0.94
AV_TR T16 S	18.80	18.80	18.80	16.28	16.28	16.28	0.00
T20 S	4.94	4.94	4.94	4.27	4.27	4.52	0.97
PL2	5.22	5.22	5.22	4.52	4.52	4.77	1.00
T15	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	4.47	0.97
AM_TR T11 S	4.96	4.96	4.96	4.30	4.30	4.54	0.98
T16	4.92	4.92	4.92	4.26	4.26	4.50	0.98
AV_TR T18 S	18.80	18.80	18.80	16.28	16.28	16.28	0.00
T11 S	4.96	4.96	4.96	4.30	4.30	4.54	0.98
T17	5.16	5.16	5.16	4.47	4.47	4.72	1.00
AV_TR T19 S	28.06	28.06	28.06	24.30	24.30	24.30	0.00
AM_TR T13 S	4.99	4.99	4.99	4.32	4.32	4.57	0.98
T18	5.00	5.00	5.00	4.33	4.33	4.57	0.98
AM_TR T14 1	4.84	4.84	4.84	4.19	4.19	4.44	0.97
AM_TR T20	4.72	4.72	4.72	4.09	4.09	4.33	0.96
AM_TR T14 S	5.00	5.00	5.00	4.33	4.33	4.57	0.98
T13 S	4.99	4.99	4.99	4.32	4.32	4.57	0.98
T19	5.09	5.09	5.09	4.41	4.41	4.66	0.99
AM_TR T14 2	4.85	4.85	4.85	4.20	4.20	4.44	0.97
T14 1	4.84	4.84	4.84	4.20	4.20	4.44	0.97
AM_TR T15 S	5.02	5.02	5.02	4.35	4.35	4.59	0.98
T14 S	5.00	5.00	5.00	4.33	4.33	4.57	0.98
EXT_BO DB1	5.22	5.22	5.22	4.52	4.52	4.77	1.00
T14 2	4.85	4.85	4.85	4.20	4.20	4.44	0.97
AM_TR T11	4.69	4.69	4.69	4.06	4.06	4.30	0.96
AM_TR T16 S	5.02	5.02	5.02	4.35	4.35	4.59	0.98
T15 S	5.02	5.02	5.02	4.35	4.35	4.59	0.98
AV_TR T20	34.52	34.52	34.52	29.89	29.89	29.89	0.00
T16 S	5.02	5.02	5.02	4.35	4.35	4.59	0.98
AM_TR T13	4.76	4.76	4.76	4.12	4.12	4.36	0.96
AM_TR T18 S	5.01	5.01	5.01	4.34	4.34	4.58	0.98
AM_TR T19 S	4.93	4.93	4.93	4.27	4.27	4.51	0.97
AV_TR T11	27.89	27.89	27.89	24.15	24.15	24.15	0.00
T18 S	5.01	5.01	5.01	4.34	4.34	4.58	0.98
T19 S	4.93	4.93	4.93	4.27	4.27	4.51	0.97
AM_TR T15	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	4.47	0.97
AV_TR T20 S	34.75	34.75	34.75	30.09	30.09	30.09	0.00
AM_TR T16	4.92	4.92	4.92	4.26	4.26	4.50	0.98
AV_TR T13	22.93	22.93	22.93	19.86	19.86	19.86	0.00
AM_TR T17	5.16	5.16	5.16	4.47	4.47	4.72	1.00
T20	4.72	4.72	4.72	4.09	4.09	4.33	0.96
AV_TR T11 S	28.09	28.09	28.09	24.32	24.32	24.32	0.00
AM_TR T18	5.00	5.00	5.00	4.33	4.33	4.57	0.98
AV_TR T15	22.99	22.99	22.99	19.91	19.91	19.91	0.00
AM_TR T19	5.09	5.09	5.09	4.41	4.41	4.65	0.99
AV_TR T16	18.77	18.77	18.77	16.26	16.26	16.26	0.00
T11	4.69	4.69	4.69	4.06	4.06	4.30	0.96
AV_TR T13 S	23.04	23.04	23.04	19.96	19.96	19.96	0.00

Courts-circuits MINI

Noeuds	I ^{k3} (kA)	I ^{b3} (kA)	I ^{k3} (kA)	I ^{k2=I^{b2}} (kA)	I ^{k2} (kA)	I ^{k2E=I^{b2E}=I^{k2E}} (kA)	I ^{k1=I^{b1}=I^{k1}} (kA)
EXT_CENTRALE	4.98	4.98	4.98	4.32	4.32	4.07	0.98
T12	4.98	4.98	4.98	4.31	4.31	4.07	0.98
AV_TR_T17	8.29	8.29	8.29	7.18	7.18	7.18	0.00
AV_TR_T14_1	31.67	31.67	31.67	27.43	27.43	27.43	0.00
AV_TR_T14_S	31.83	31.83	31.83	27.57	27.57	27.57	0.00
AV_TR_T18	17.10	17.10	17.10	14.81	14.81	14.81	0.00
AV_TR_T14_2	31.68	31.68	31.68	27.44	27.44	27.44	0.00
T13	4.62	4.62	4.62	4.00	4.00	3.77	0.95
AV_TR_T15_S	21.00	21.00	21.00	18.19	18.19	18.19	0.00
AM_TR_T20_S	4.81	4.81	4.81	4.17	4.17	3.93	0.96
PL1	5.14	5.14	5.14	4.45	4.45	4.20	1.00
AV_TR_T19	25.71	25.71	25.71	22.27	22.27	22.27	0.00
EXT_BO_DB16	4.30	4.30	4.30	3.73	3.73	3.51	0.92
AV_TR_T16_S	17.11	17.11	17.11	14.82	14.82	14.82	0.00
T20_S	4.81	4.81	4.81	4.17	4.17	3.93	0.96
PL2	5.13	5.13	5.13	4.44	4.44	4.19	1.00
T15	4.76	4.76	4.76	4.12	4.12	3.88	0.96
AM_TR_T11_S	4.84	4.84	4.84	4.19	4.19	3.96	0.97
T16	4.80	4.80	4.80	4.16	4.16	3.92	0.97
AV_TR_T18_S	17.10	17.10	17.10	14.81	14.81	14.81	0.00
T11_S	4.84	4.84	4.84	4.20	4.20	3.96	0.97
T17	5.07	5.07	5.07	4.39	4.39	4.14	0.99
AV_TR_T19_S	25.60	25.60	25.60	22.17	22.17	22.17	0.00
AM_TR_T13_S	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	3.99	0.97
T18	4.89	4.89	4.89	4.23	4.23	3.99	0.98
AM_TR_T14_1	4.71	4.71	4.71	4.08	4.08	3.85	0.96
AM_TR_T20	4.58	4.58	4.58	3.96	3.96	3.74	0.95
AM_TR_T14_S	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	3.99	0.97
T13_S	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	3.99	0.97
T19	4.99	4.99	4.99	4.32	4.32	4.08	0.99
AM_TR_T14_2	4.72	4.72	4.72	4.09	4.09	3.85	0.96
T14_1	4.71	4.71	4.71	4.08	4.08	3.85	0.96
AM_TR_T15_S	4.91	4.91	4.91	4.25	4.25	4.01	0.98
T14_S	4.88	4.88	4.88	4.23	4.23	3.99	0.97
EXT_BO_DB1	5.14	5.14	5.14	4.45	4.45	4.20	1.00
T14_2	4.72	4.72	4.72	4.09	4.09	3.85	0.96
AM_TR_T11	4.54	4.54	4.54	3.93	3.93	3.71	0.94
AM_TR_T16_S	4.91	4.91	4.91	4.25	4.25	4.01	0.98
T15_S	4.91	4.91	4.91	4.25	4.25	4.01	0.98
AV_TR_T20	31.55	31.55	31.55	27.32	27.32	27.32	0.00
T16_S	4.91	4.91	4.91	4.25	4.25	4.01	0.98
AM_TR_T13	4.62	4.62	4.62	4.00	4.00	3.77	0.95
AM_TR_T18_S	4.90	4.90	4.90	4.24	4.24	4.00	0.97
AM_TR_T19_S	4.81	4.81	4.81	4.16	4.16	3.93	0.96
AV_TR_T11	25.43	25.43	25.43	22.02	22.02	22.02	0.00
T18_S	4.90	4.90	4.90	4.24	4.24	4.00	0.97
T19_S	4.81	4.81	4.81	4.16	4.16	3.93	0.96
AM_TR_T15	4.76	4.76	4.76	4.12	4.12	3.88	0.96
AV_TR_T20_S	31.77	31.77	31.77	27.51	27.51	27.51	0.00
AM_TR_T16	4.80	4.80	4.80	4.16	4.16	3.92	0.97
AV_TR_T13	20.88	20.88	20.88	18.08	18.08	18.08	0.00
AM_TR_T17	5.07	5.07	5.07	4.39	4.39	4.14	0.99
T20	4.58	4.58	4.58	3.97	3.97	3.74	0.95
AV_TR_T11_S	25.62	25.62	25.62	22.19	22.19	22.19	0.00
AM_TR_T18	4.89	4.89	4.89	4.23	4.23	3.99	0.98
AV_TR_T15	20.94	20.94	20.94	18.14	18.14	18.14	0.00
AM_TR_T19	4.99	4.99	4.99	4.32	4.32	4.08	0.99
AV_TR_T16	17.08	17.08	17.08	14.79	14.79	14.79	0.00
T11	4.54	4.54	4.54	3.93	3.93	3.71	0.94
AV_TR_T13_S	20.99	20.99	20.99	18.18	18.18	18.18	0.00

7.3.2 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec BOUCLE & ANTENNES (DGS2)

Icc mini (5 GE en fonctionnement)

Noeuds	I ["] k3(kA)	Ib3(kA)	Ik3(kA)	I ["] k2=Ib2(kA)	Ik2(kA)	I ["] k2E=Ib2E=Ik2E(kA)	I ["] k1=Ib1=Ik1(kA)
EXT CENTRALE	1.49	1.13	0.15	1.29	1.29	1.28	0.046
T12	1.46	1.12	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AV_TR T17	7.63	7.63	3.70	6.61	6.61	6.61	0.00
AV_TR T14 1	23.82	23.82	5.82	20.61	20.61	20.61	0.00
AV_TR T14 S	23.91	23.91	5.83	20.69	20.69	20.69	0.00
AV_TR T18	14.52	14.52	4.96	12.56	12.56	12.56	0.00
AV_TR T14 2	23.83	23.83	5.82	20.62	20.62	20.62	0.00
T13	1.43	1.10	0.15	1.24	1.24	1.22	0.046
AV_TR T15 S	17.23	17.23	5.28	14.91	14.91	14.91	0.00
AM_TR T20 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
PL1	1.48	1.12	0.15	1.28	1.28	1.27	0.046
AV_TR T19	20.28	20.28	5.56	17.55	17.55	17.55	0.00
EXT_BO DB16	1.40	1.08	0.14	1.21	1.21	1.20	0.046
AV_TR T16 S	14.52	14.52	4.96	12.57	12.57	12.57	0.00
T20 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
PL2	1.48	1.12	0.15	1.28	1.28	1.27	0.046
T15	1.44	1.10	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AM_TR T11 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
T16	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AV_TR T18 S	14.52	14.52	4.96	12.57	12.57	12.57	0.00
T11 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
T17	1.47	1.12	0.15	1.27	1.27	1.26	0.046
AV_TR T19 S	20.21	20.21	5.55	17.49	17.49	17.49	0.00
AM_TR T13 S	1.45	1.11	0.15	1.26	1.26	1.24	0.046
T18	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AM_TR T14 1	1.44	1.10	0.15	1.24	1.24	1.23	0.046
AM_TR T20	1.43	1.10	0.15	1.23	1.23	1.22	0.046
AM_TR T14 S	1.45	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
T13 S	1.45	1.11	0.15	1.26	1.26	1.24	0.046
T19	1.46	1.12	0.15	1.27	1.27	1.25	0.046
AM_TR T14 2	1.44	1.10	0.15	1.24	1.24	1.23	0.046
T14 1	1.44	1.10	0.15	1.24	1.24	1.23	0.046
AM_TR T15 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
T14 S	1.45	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
EXT_BO DB1	1.48	1.12	0.15	1.28	1.28	1.27	0.046
T14 2	1.44	1.10	0.15	1.24	1.24	1.23	0.046
AM_TR T11	1.42	1.09	0.15	1.23	1.23	1.22	0.046
AM_TR T16 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
T15 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AV_TR T20	23.75	23.75	5.82	20.55	20.55	20.55	0.00
T16 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AM_TR T13	1.43	1.10	0.15	1.24	1.24	1.22	0.046
AM_TR T18 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AM_TR T19 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AV_TR T11	20.10	20.10	5.55	17.40	17.40	17.40	0.00
T18 S	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
CENTRALE	1.49	1.13	0.15	1.29	1.29	1.28	0.046
T19 S	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AM_TR T15	1.44	1.10	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AV_TR T20 S	23.88	23.88	5.83	20.66	20.66	20.66	0.00
AM_TR T16	1.45	1.11	0.15	1.25	1.25	1.24	0.046
AV_TR T13	17.15	17.15	5.27	14.84	14.84	14.84	0.00
AM_TR T17	1.47	1.12	0.15	1.27	1.27	1.26	0.046
T20	1.43	1.10	0.15	1.23	1.23	1.22	0.046
AV_TR T11 S	20.22	20.22	5.56	17.50	17.50	17.50	0.00
AM_TR T18	1.46	1.11	0.15	1.26	1.26	1.25	0.046
AV_TR T15	17.19	17.19	5.27	14.88	14.88	14.88	0.00
AM_TR T19	1.46	1.12	0.15	1.27	1.27	1.25	0.046
AV_TR T16	14.50	14.50	4.96	12.55	12.55	12.55	0.00
T11	1.42	1.09	0.15	1.23	1.23	1.22	0.046
AV_TR T13 S	17.23	17.23	5.28	14.91	14.91	14.91	0.00

Icc maxi (6 GE en fonctionnement)

Noeuds	I ^{pk} 3(kA)	I _b 3(kA)	I _k 3(kA)	I ^{pk} 2=I _b 2(kA)	I _k 2(kA)	I ^{pk} 2E=I _b 2E=I _k 2E(kA)	I ^{pk} 1=I _b 1=I _k 1(kA)
EXT CENTRALE	1.97	1.45	0.89	1.70	1.70	1.71	0.05
T12	1.93	1.43	0.89	1.66	1.66	1.68	0.05
AV_TR T17	8.59	8.59	8.59	7.44	7.44	7.44	0.00
AV_TR T14 1	27.95	27.95	27.95	24.19	24.19	24.19	0.00
AV_TR T14 S	28.06	28.06	28.06	24.28	24.28	24.28	0.00
AV_TR T18	16.63	16.63	16.63	14.40	14.40	14.40	0.00
AV_TR T14 2	27.96	27.96	27.96	24.19	24.19	24.19	0.00
T13	1.88	1.40	0.89	1.62	1.62	1.63	0.05
AV_TR T15 S	19.88	19.88	19.88	17.21	17.21	17.21	0.00
AM_TR T20 S	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
PL1	1.95	1.44	0.89	1.68	1.68	1.70	0.05
AV_TR T19	23.58	23.58	23.58	20.40	20.40	20.40	0.00
EXT_BO DB16	1.83	1.38	0.88	1.58	1.58	1.60	0.05
AV_TR T16 S	16.63	16.63	16.63	14.40	14.40	14.40	0.00
T20 S	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
PL2	1.95	1.44	0.89	1.68	1.68	1.70	0.05
T15	1.90	1.41	0.89	1.64	1.64	1.65	0.05
AM_TR T11 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.66	0.05
T16	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
AV_TR T18 S	16.63	16.63	16.63	14.40	14.40	14.40	0.00
T11 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.66	0.05
T17	1.94	1.44	0.89	1.68	1.68	1.69	0.05
AV_TR T19 S	23.49	23.49	23.49	20.33	20.33	20.33	0.00
AM_TR T13 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
T18	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
AM_TR T14 1	1.89	1.41	0.89	1.63	1.63	1.65	0.05
AM_TR T20	1.87	1.40	0.89	1.62	1.62	1.63	0.05
AM_TR T14 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
T13 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
T19	1.93	1.43	0.89	1.67	1.67	1.68	0.05
AM_TR T14 2	1.89	1.41	0.89	1.63	1.63	1.65	0.05
T14 1	1.89	1.41	0.89	1.63	1.63	1.65	0.05
AM_TR T15 S	1.92	1.42	0.89	1.66	1.66	1.67	0.05
T14 S	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
EXT_BO DB1	1.95	1.44	0.89	1.68	1.68	1.70	0.05
T14 2	1.89	1.41	0.89	1.63	1.63	1.65	0.05
AM_TR T11	1.87	1.40	0.89	1.61	1.61	1.62	0.05
AM_TR T16 S	1.92	1.42	0.89	1.66	1.66	1.67	0.05
T15 S	1.92	1.42	0.89	1.66	1.66	1.67	0.05
AV_TR T20	27.87	27.87	27.87	24.11	24.11	24.11	0.00
T16 S	1.92	1.42	0.89	1.66	1.66	1.67	0.05
AM_TR T13	1.88	1.40	0.89	1.62	1.62	1.63	0.05
AM_TR T18 S	1.92	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
AM_TR T19 S	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
AV_TR T11	23.37	23.37	23.37	20.23	20.23	20.23	0.00
T18 S	1.92	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
CENTRALE	1.97	1.45	0.89	1.70	1.70	1.71	0.05
T19 S	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
AM_TR T15	1.90	1.41	0.89	1.64	1.64	1.65	0.05
AV_TR T20 S	28.02	28.02	28.02	24.24	24.24	24.24	0.00
AM_TR T16	1.90	1.42	0.89	1.64	1.64	1.66	0.05
AV_TR T13	19.78	19.78	19.78	17.12	17.12	17.12	0.00
AM_TR T17	1.94	1.44	0.89	1.68	1.68	1.69	0.05
T20	1.87	1.40	0.89	1.62	1.62	1.63	0.05
AV_TR T11 S	23.51	23.51	23.51	20.35	20.35	20.35	0.00
AM_TR T18	1.91	1.42	0.89	1.65	1.65	1.67	0.05
AV_TR T15	19.83	19.83	19.83	17.17	17.17	17.17	0.00
AM_TR T19	1.93	1.43	0.89	1.67	1.67	1.68	0.05
AV_TR T16	16.61	16.61	16.61	14.38	14.38	14.38	0.00
T11	1.87	1.40	0.89	1.61	1.61	1.62	0.05
AV_TR T13 S	19.87	19.87	19.87	17.20	17.20	17.20	0.00

7.3.3 Fonctionnement SECOURS CENTRALE avec ANTENNES (DGS1)

Icc mini (2 GE en fonctionnement)

Noeuds	I"k3(kA)	Ib3(kA)	Ik3(kA)	I"k2=Ib2(kA)	Ik2(kA)	I"k2E=Ib2E=Ik2E(kA)	I"k1=Ib1=Ik1(kA)
T12	0.60	0.45	0.058	0.52	0.52	0.50	0.045
AV_TR T14 S	15.81	14.44	2.61	13.67	13.67	13.67	0.00
AV_TR T15 S	12.59	12.24	2.49	10.89	10.89	10.89	0.00
AM_TR T20 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AV_TR T16 S	11.08	11.08	2.42	9.59	9.59	9.59	0.00
T20 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T11 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AV_TR T18 S	11.08	11.08	2.42	9.58	9.58	9.58	0.00
T11 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AV_TR T19 S	14.11	13.31	2.55	12.20	12.20	12.20	0.00
AM_TR T13 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T14 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
T13 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T15 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
T14 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T16 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
T15 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
T16 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T18 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AM_TR T19 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
T18 S	0.60	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
CENTRALE	0.60	0.45	0.058	0.52	0.52	0.50	0.045
T19 S	0.59	0.45	0.058	0.51	0.51	0.50	0.045
AV_TR T20 S	15.80	14.43	2.61	13.66	13.66	13.66	0.00
AV_TR T11 S	14.12	13.31	2.55	12.21	12.21	12.21	0.00
AV_TR T13 S	12.59	12.24	2.49	10.89	10.89	10.89	0.00

Icc maxi (4 GE en fonctionnement)

Noeuds	I"k3(kA)	Ib3(kA)	Ik3(kA)	I"k2=Ib2(kA)	Ik2(kA)	I"k2E=Ib2E=Ik2E(kA)	I"k1=Ib1=Ik1(kA)
T12	1.31	0.97	0.60	1.13	1.13	1.15	0.05
AV_TR T14 S	24.48	23.97	22.99	21.17	21.17	21.17	0.00
AV_TR T15 S	18.02	18.02	18.02	15.59	15.59	15.59	0.00
AM_TR T20 S	1.30	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AV_TR T16 S	15.31	15.31	15.31	13.25	13.25	13.25	0.00
T20 S	1.30	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AM_TR T11 S	1.30	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AV_TR T18 S	15.31	15.31	15.31	13.25	13.25	13.25	0.00
T11 S	1.30	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AV_TR T19 S	20.93	20.93	20.93	18.11	18.11	18.11	0.00
AM_TR T13 S	1.31	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AM_TR T14 S	1.31	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.05
T13 S	1.31	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.049
AM_TR T15 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
T14 S	1.31	0.96	0.59	1.13	1.13	1.14	0.05
AM_TR T16 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
T15 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
T16 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
AM_TR T18 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
AM_TR T19 S	1.30	0.96	0.59	1.12	1.12	1.14	0.049
T18 S	1.31	0.96	0.60	1.13	1.13	1.14	0.05
CENTRALE	1.31	0.97	0.60	1.13	1.13	1.15	0.05
T19 S	1.30	0.96	0.59	1.12	1.12	1.14	0.049
AV_TR T20 S	24.44	23.94	22.98	21.15	21.15	21.15	0.00
AV_TR T11 S	20.95	20.95	20.95	18.13	18.13	18.13	0.00
AV_TR T13 S	18.01	18.01	18.01	15.58	15.58	15.58	0.00

7.3.4 Fonctionnement ENEDIS SECOURS PL2 (boucle ouverte à son extrémité)

Courts-circuits MINI

Noeuds	I ^{"k3} (kA)	I ^{b3} (kA)	I ^{k3} (kA)	I ^{"k2=Ib2} (kA)	I ^{k2} (kA)	I ^{"k2E=Ib2E=Ik2E} (kA)	I ^{"k1=Ib1=Ik1} (kA)
EXT CENTRALE	4.36	4.36	4.36	3.78	3.78	3.71	0.30
T12	4.35	4.35	4.35	3.77	3.77	3.69	0.30
AV TR T17	8.24	8.24	8.24	7.14	7.14	7.14	0.00
AV TR T14 1	31.05	31.05	31.05	26.89	26.89	26.89	0.00
AV TR T14 S	31.20	31.20	31.20	27.02	27.02	27.02	0.00
AV TR T18	16.92	16.92	16.92	14.65	14.65	14.65	0.00
AV TR T14 2	31.06	31.06	31.06	26.90	26.90	26.90	0.00
T13	4.07	4.07	4.07	3.52	3.52	3.45	0.29
AV TR T15 S	20.73	20.73	20.73	17.95	17.95	17.95	0.00
AM TR T20 S	4.22	4.22	4.22	3.65	3.65	3.58	0.30
PL1	4.47	4.47	4.47	3.87	3.87	3.79	0.30
AV TR T19	25.31	25.31	25.31	21.92	21.92	21.92	0.00
EXT_BO_DB16	3.83	3.83	3.83	3.31	3.31	3.25	0.29
AV TR T16 S	16.93	16.93	16.93	14.66	14.66	14.66	0.00
T20 S	4.22	4.22	4.22	3.65	3.65	3.58	0.30
PL2	4.47	4.47	4.47	3.87	3.87	3.80	0.30
T15	4.18	4.18	4.18	3.62	3.62	3.55	0.30
AM TR T11 S	4.24	4.24	4.24	3.67	3.67	3.60	0.30
T16	4.21	4.21	4.21	3.64	3.64	3.57	0.30
AV TR T18 S	16.92	16.92	16.92	14.65	14.65	14.65	0.00
T11 S	4.24	4.24	4.24	3.68	3.68	3.60	0.30
T17	4.42	4.42	4.42	3.82	3.82	3.75	0.30
AV TR T19 S	25.19	25.19	25.19	21.82	21.82	21.82	0.00
AM TR T13 S	4.27	4.27	4.27	3.70	3.70	3.63	0.30
T18	4.28	4.28	4.28	3.70	3.70	3.63	0.30
AM TR T14 1	4.14	4.14	4.14	3.59	3.59	3.52	0.30
AM TR T20	4.04	4.04	4.04	3.50	3.50	3.43	0.29
AM TR T14 S	4.27	4.27	4.27	3.70	3.70	3.63	0.30
T13 S	4.27	4.27	4.27	3.70	3.70	3.63	0.30
T19	4.35	4.35	4.35	3.77	3.77	3.70	0.30
AM TR T14 2	4.15	4.15	4.15	3.59	3.59	3.52	0.30
T14 1	4.14	4.14	4.14	3.59	3.59	3.52	0.30
AM TR T15 S	4.29	4.29	4.29	3.72	3.72	3.64	0.30
T14 S	4.27	4.27	4.27	3.70	3.70	3.63	0.30
EXT_BO_DB1	4.47	4.47	4.47	3.87	3.87	3.79	0.30
T14 2	4.15	4.15	4.15	3.59	3.59	3.52	0.30
AM TR T11	4.01	4.01	4.01	3.47	3.47	3.40	0.29
AM TR T16 S	4.29	4.29	4.29	3.72	3.72	3.65	0.30
T15 S	4.29	4.29	4.29	3.72	3.72	3.64	0.30
AV TR T20	30.93	30.93	30.93	26.79	26.79	26.79	0.00
T16 S	4.29	4.29	4.29	3.72	3.72	3.65	0.30
AM TR T13	4.07	4.07	4.07	3.52	3.52	3.45	0.29
AM TR T18 S	4.28	4.28	4.28	3.71	3.71	3.64	0.30
AM TR T19 S	4.22	4.22	4.22	3.65	3.65	3.58	0.30
AV TR T11	25.03	25.03	25.03	21.68	21.68	21.68	0.00
T18 S	4.28	4.28	4.28	3.71	3.71	3.64	0.30
T19 S	4.22	4.22	4.22	3.65	3.65	3.58	0.30
AM TR T15	4.18	4.18	4.18	3.62	3.62	3.55	0.30
AV TR T20 S	31.14	31.14	31.14	26.97	26.97	26.97	0.00
AM TR T16	4.21	4.21	4.21	3.64	3.64	3.57	0.30
AV TR T13	20.61	20.61	20.61	17.85	17.85	17.85	0.00
AM TR T17	4.41	4.41	4.41	3.82	3.82	3.75	0.30
T20	4.04	4.04	4.04	3.50	3.50	3.43	0.29
AV TR T11 S	25.22	25.22	25.22	21.84	21.84	21.84	0.00
AM TR T18	4.28	4.28	4.28	3.70	3.70	3.63	0.30
AV TR T15	20.67	20.67	20.67	17.90	17.90	17.90	0.00
AM TR T19	4.35	4.35	4.35	3.77	3.77	3.70	0.30
AV TR T16	16.89	16.89	16.89	14.63	14.63	14.63	0.00
T11	4.01	4.01	4.01	3.47	3.47	3.40	0.29
AV TR T13 S	20.72	20.72	20.72	17.94	17.94	17.94	0.00

7.4 Limite thermique des câbles

Pendant un court-circuit, les différents éléments de l'installation traversés par le courant sont soumis à des contraintes thermiques et électrodynamiques importantes.

Les calculs des courants de court-circuit dans les situations les plus contraignantes (efforts et contraintes maximaux) permettent de déterminer les temps maximums d'élimination des défauts et par conséquent les réglages maximums des temps de déclenchement des protections.

Calcul des courants de court-circuit maximaux

	I ^{"k} 3(kA)	Ib3(kA)	Ik3(kA)
Court circuit dimensionnant pour les équipements sur ENEDIS	5.22	5.22	5.22

Les courants de court-circuit considérés sont calculés conformément à la norme CE60 I909.

- Courant de court-circuit symétrique initial I^{"k}:

Valeur efficace de la composante symétrique alternative d'un courant de court circuit présumé à l'instant d'apparition du court-circuit, si l'impédance conserve sa valeur initiale.

- Courant de court-circuit symétrique coupé Ib:

Valeur efficace d'un cycle complet de la composante alternative symétrique du courant de court-circuit présumé à l'instant de la séparation des contacts du premier pôle de l'appareil de manœuvre.

- Courant de court-circuit permanent Ik:

Valeur efficace du courant de court-circuit se maintenant après extinction des phénomènes transitoires.

L'indice 3 indique un court-circuit triphasé et l'indice 2E indique un court-circuit biphasé terre.

Le temps maximum supporté par les câbles en cas de court circuit est donné par la formule suivante :

$$t_{\max} = \frac{I_{th}^2 * 1s}{I_{cc_{\max}}^2} = Cte$$

I_{th} Tenue thermique 1 sec estimée selon la nature du câble
 $I_{cc_{\max}}$ Courant de court circuit maximum pouvant traverser le câble
 t_{\max} Temps maximum de durée du défaut

(Hypothèse d'échauffement adiabatique sans échange de chaleur avec l'environnement)

Pour un câble, Alu, isolation PR, la densité de courant admissible pendant 1s vaut $I_{th} = 87A/mm^2$.

Pour un câble Cuivre, isolation PR, la densité de courant admissible pendant 1s vaut $I_{th} = 135A/mm^2$

Vis-à-vis des canalisations utilisées, le calcul conduit à un temps d'élimination maximum de :

- 6s pour des câbles 150 mm² Alu (câbles mis en œuvre sur les boucles)

Il n'y a donc pas de contrainte sur les sections de câbles.

Nota : le courant admissible dans des câbles unipolaires de 150mm² Alu enterrés sous fourreaux s'élève à $325 * 0,8 = 260A$.

8- Tableau des réglages préconisés

NOTA : Les temporisations indiquées dans l'ensemble des tableaux n'intègrent pas le temps d'ouverture des disjoncteurs HTA associés.
En ce qui concerne les protections de découplage du SEPAM S48, les valeurs sont déterminées par les services compétents d'ENEDIS.

8.1 Protections C13-100 NORMAL PL1 et SECOURS PL2

Cellule	Matériel	Capteurs	ANSI	Gpe	Déclt	Cbe	Seuil	Tempo	Remarque
DG1 DG Général C13-100 NORMAL	MiCOM P124D	TC M6B 200-400/5 ?VA 10P10	51	1	O	DT	3260 A	250 ms	Dérogation ENEDIS / temporisation
			51	1	O	DT	3260 A	350 ms	Temporisation si Réception Attente Logique depuis DB1, DB16 ou DB19
			51N	1	O	DT	50A	250 ms	Dérogation ENEDIS / temporisation Risque de sollicitation à l'enclenchement des transformateurs
			51N	1	O	DT	50A	350 ms	Temporisation si Réception Attente Logique depuis DB1, DB16 ou DB19 Risque de sollicitation à l'enclenchement des transformateurs
	MiCOM P922G	TP 15VA cl0.5	27			-	85%Un	Inst.	Protections de découplage B61.4 – type F1 Protections actives lors des phases de couplage uniquement
			59			-	115%Un	Inst.	
			59N			-	10%Vn	Inst.	
			81L			-	47,5Hz	Inst.	
			81H			-	51Hz	Inst.	
DG2 DG Général C13-100 SECOURS	MiCOM P124D	TC SW45 200-400/1 2.5VA 10P30	51	1	O	DT	2900 A	250 ms	Dérogation ENEDIS / temporisation
			51	1	O	DT	2900 A	350 ms	Temporisation si Réception Attente Logique depuis DB1, DB16 ou DB19
			51N	1	O	DT	50A	250 ms	Dérogation ENEDIS / temporisation Risque de sollicitation à l'enclenchement des transformateurs
			51N	1	O	DT	50A	350 ms	Temporisation si Réception Attente Logique depuis DB1, DB16 ou DB19 Risque de sollicitation à l'enclenchement des transformateurs
	MiCOM P922G	TP 15VA cl0.5	27			-	85%Un	Inst.	Protections de découplage B61.4 – type F1 Protections actives lors des phases de couplage uniquement
			59			-	115%Un	Inst.	
			59N			-	10%Vn	Inst.	
			81L			-	47,5Hz	Inst.	
			81H			-	51Hz	Inst.	

8.2 Protections départs BOUCLE et poste ANTENNE SECOURS

Cellule	Matériel	Capteurs	ANSI	Gpe	Déclt	Cbe	Seuil	Tempo	Remarque
DB1 DB16 Départs Boucle	MiCOM P122	TC 400/5	51	1	O	DT	2800 A	100 ms	Groupe actif sur alimentation par ENEDIS
		BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	35 A	100 ms	Emission Attente Logique vers DG1 & DG2
		TC 400/5	51	2	O	DT	348 A	500ms	Groupe actif sur centrale via DGS2
		BTF100R (25/1)	51N	2	O	DT	10 A	200 ms	Le basculement sur groupe 2 est réalisée par la position de DGS2 sur L3
DB19 Départs T12	MiCOM P122	TC 400/5	51	1	O	DT	2800 A	100 ms	Groupe actif sur alimentation par ENEDIS
		BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	35 A	100 ms	Emission Attente Logique vers DG1 & DG2
		TC 400/5	51	2	O	DT	348 A	500ms	Groupe actif sur centrale via DGS2
		BTF100R (25/1)	51N	2	O	DT	10 A	200 ms	Le basculement sur groupe 2 est réalisée par la position de DGS2 sur L3
IGB	MiCOM P122	TC 400/1	51	1	N	DT	2800 A	50 ms	Groupe actif sur alimentation par ENEDIS
		BTF100R (25/1)	51N	1	N	DT	20 A	50 ms	
		TC 400/1	51	2	N	DT	350 A	700 ms	Groupe actif sur centrale via DGS2
		BTF100R (25/1)	51N	2	N	DT	10 A	200 ms	

8.3 Poste CENTRALE

Cellule	Matériel	Capteurs	ANSI	Gpe	Déclt	Cbe	Seuil	Tempo	Remarque
DGS2	MiCOM P127	TC 400/1	51	1	O	DT	450 A	950 ms	
		BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	15 A	450 ms	
DGE1 à DG26 Groupes	MiCOM P127	TC 100/1	51	1	O	DT	100 A	1200 ms	
			67	1	O	DT	75 A Dir. Ligne	100 ms	
		BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	5 A	450 ms	
DGS1	MiCOM P127	TC 400/1	51	1	O	DT	450 A	950 ms	Groupe actif pour 5 à 6 GE en service
		BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	15 A	450 ms	
		TC 400/1	51	2	O	DT	260 A	950 ms	Groupe actif pour 2 à 4 GE en service
		BTF100R (25/1)	51N	2	O	DT	15 A	450 ms	
GH	MiCOM P120	BTF100R (25/1)	51N	1	O	DT	20 A	700 ms	Protection générale terre sur réseau
			51N	1	O	DT	4 A	60000 ms	Protection propre du GH

8.4 Poste T12

Cellule	Matériel	Capteurs	ANSI	Gpe	Déclt	Cbe	Seuil	Tempo	Remarque
DS1T14 DS2T15 DS8T11	MiCOM P122	TC 100/1	51	1	N	DT	2000 A	50 ms	
			51	1	N		150 A	350 ms	
		BTF100R (25/1)	51N	1	N	DT	10 A	50 ms	
DS3T16 DS4T18 DST19 DS7T13 DS9T20	MiCOM P120	BTF100R (25/1)	51N	1	N	DT	10 A	50 ms	

8.5 Détecteurs de défauts dans les postes de transformation

Cellule	Matériel	Capteurs	ANSI	Gpe	Déclt	Cbe	Seuil	Tempo	Remarque
INTERRUPTEUR BOUCLE	DAX	25/1	51N	1	N	DT	10 A	60 ms	
	P1		51N	1	N	DT	10 A	60 ms	

8.6 Poste de transformation

Calibre des fusibles

Le calibre des fusibles pour la protection des cellules SM6 QM dépend des critères suivants :

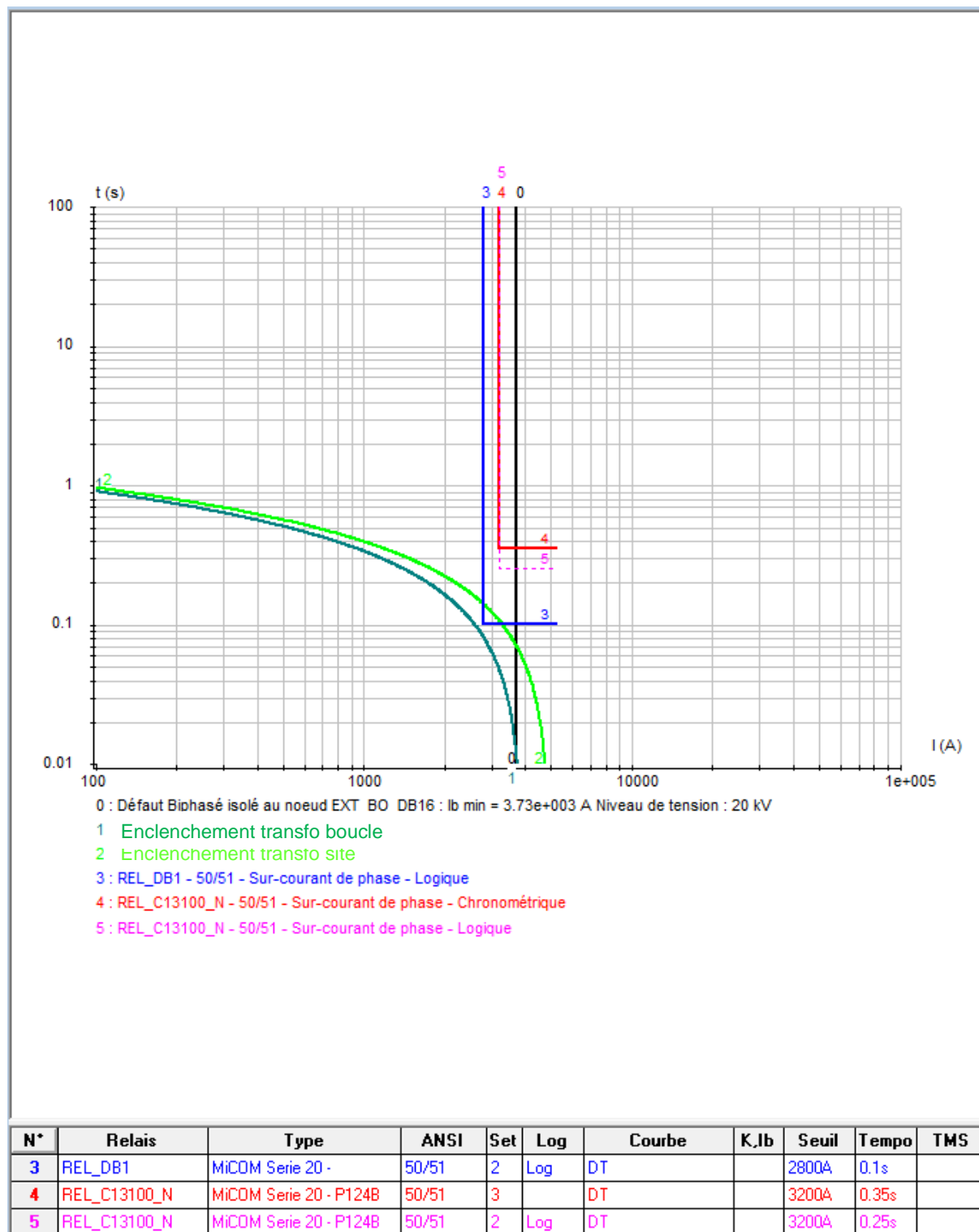
- Tension de service
- Puissance du transformateur
- Technologie des fusibles

type de fusible	tension de service (kV)	puissance des transformateurs (kVA)																	tension assignée (kV)
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
Soléfuse (cas général, norme UTE NF C 13-200)																			
3,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	100	100										7,2
5,5	6,3	16	16	31,5	31,5	63	63	63	80	80	100	125							
6,6	6,3	16	16	16	31,5	31,5	43	43	63	80	100	125	125						
10	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80	80	100					12
13,8	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63	80				17,5
15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80				
20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63					24
22	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63				
Fusarc (normes DIN)																			
3,3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	160	200*							7,2
5,5	10	16	31,5	31,5	40	50	50	63	80	100	125	125	160	160					
6,6	10	16	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160					
10	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	100	125	200			12
13,8	6,3	10	16	16	20	25	31,5	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125*	125*		17,5
15	6,3	10	10	16	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125*		
20	6,3	6,3	10	10	16	16	25	25	31,5	40	40	50	50	63	80	100	125*		24
22	6,3	6,3	10	10	10	16	20	25	25	31,5	40	40	50	50	80	80	100		

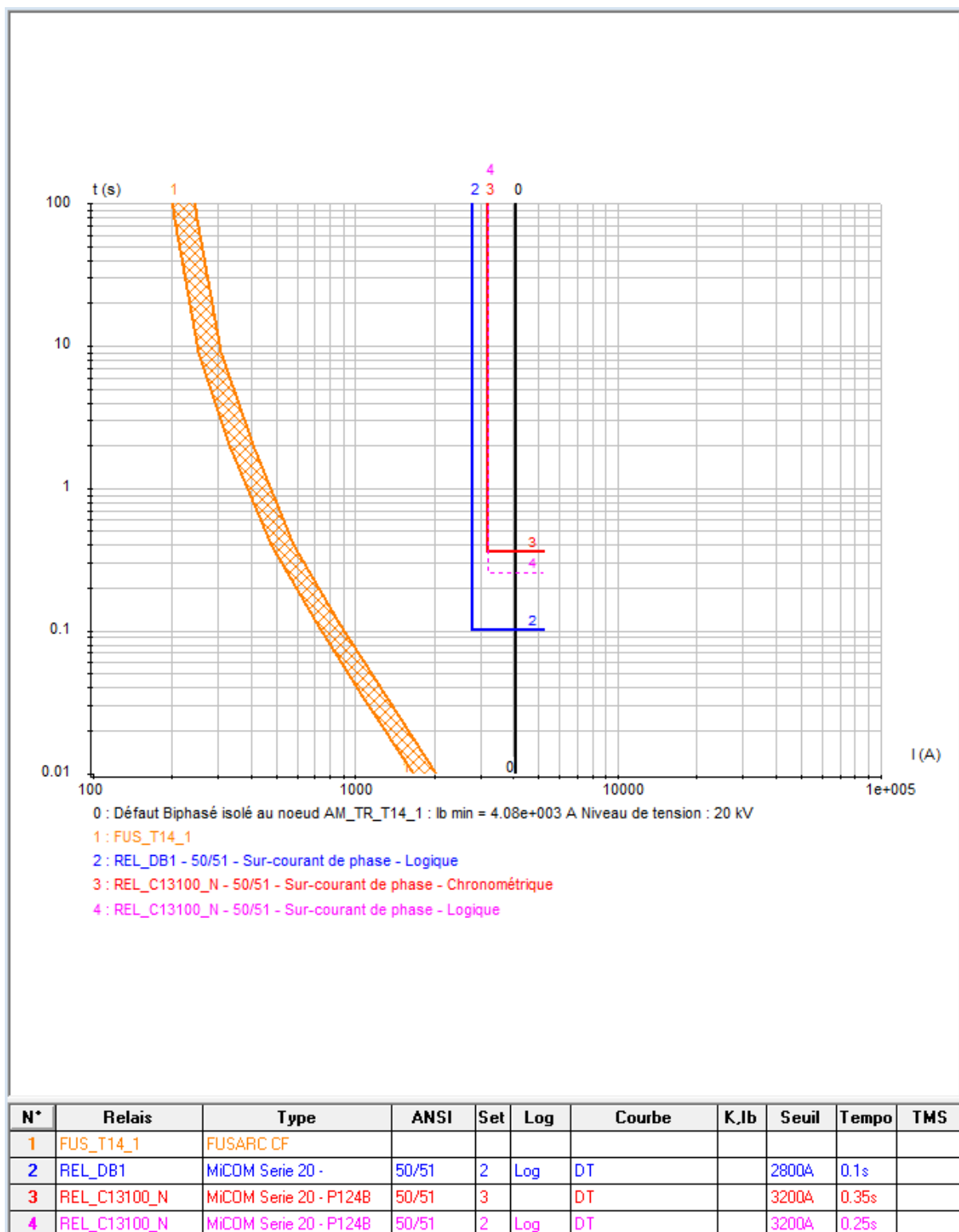
9- Graphe de sélectivité

9.1 Sur courant de court-circuit

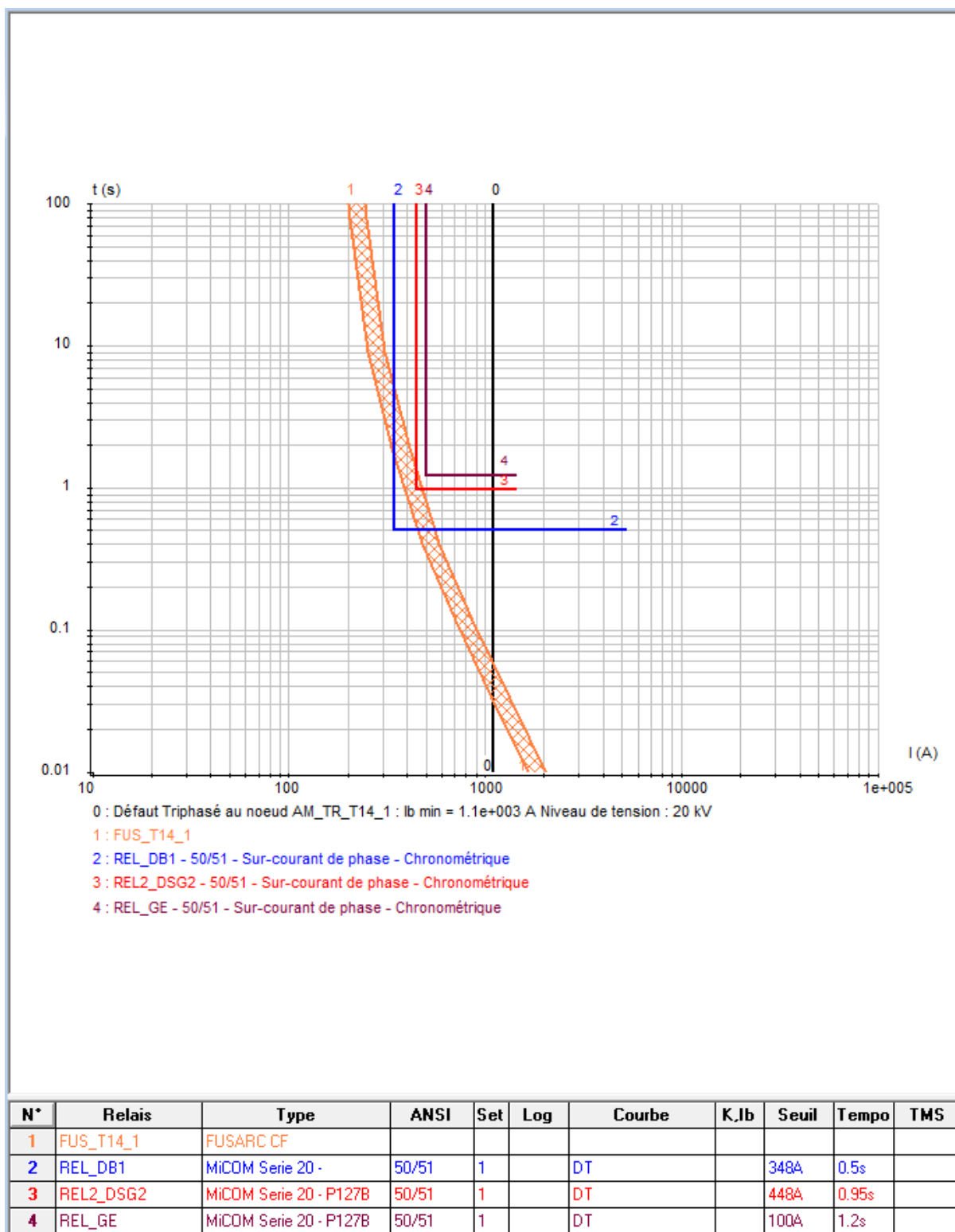
Courbe 1 : Alimentation ENEDIS - Icc mini sur boucle 20kV et enclenchement des transformateurs



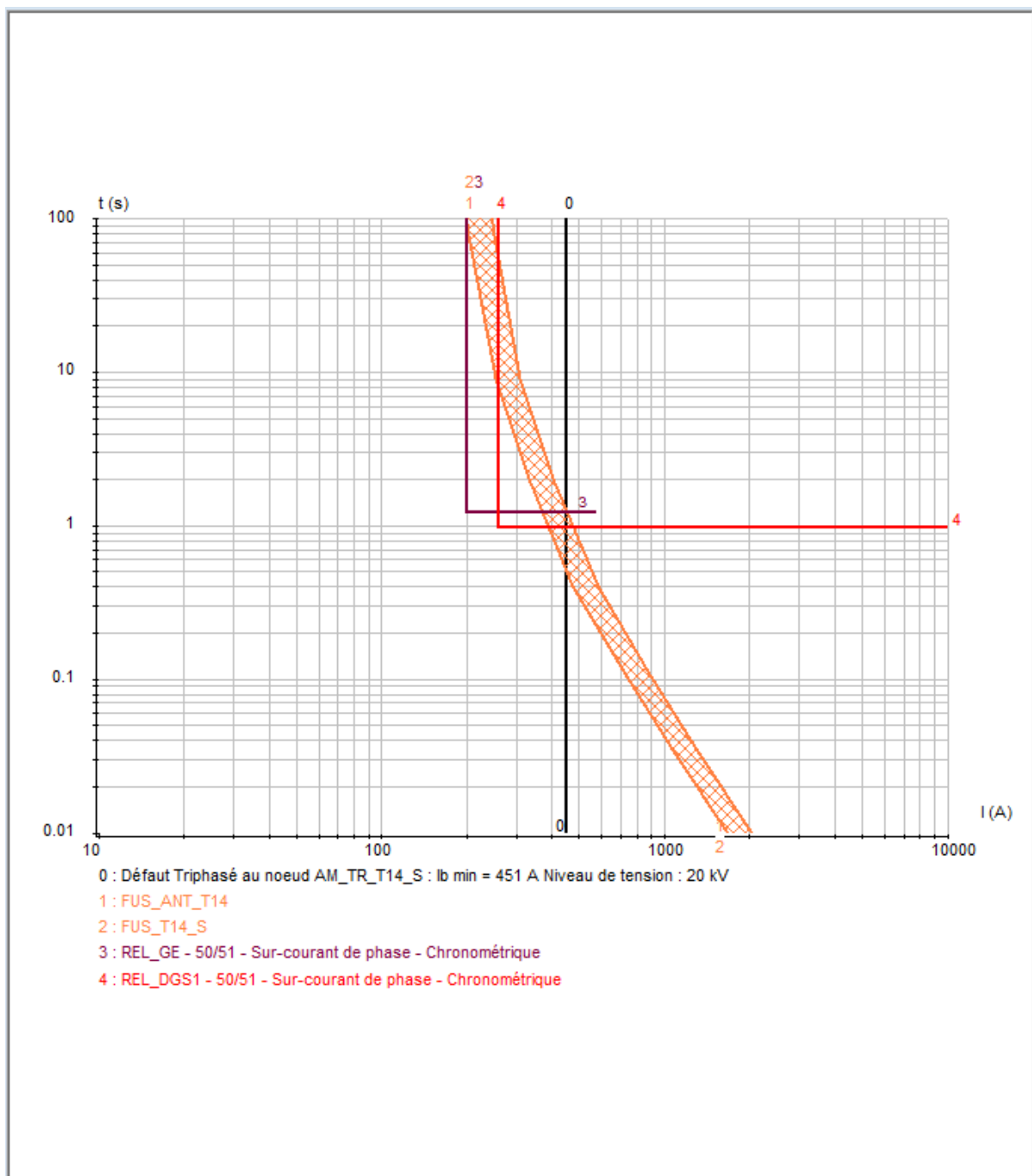
Courbe 2 : Alimentation ENEDIS - Icc mini en amont transformateur HT/BT poste T14



Courbe 3 : Alimentation via DGS2 - 5 GE – Icc mini en amont transformateur T14



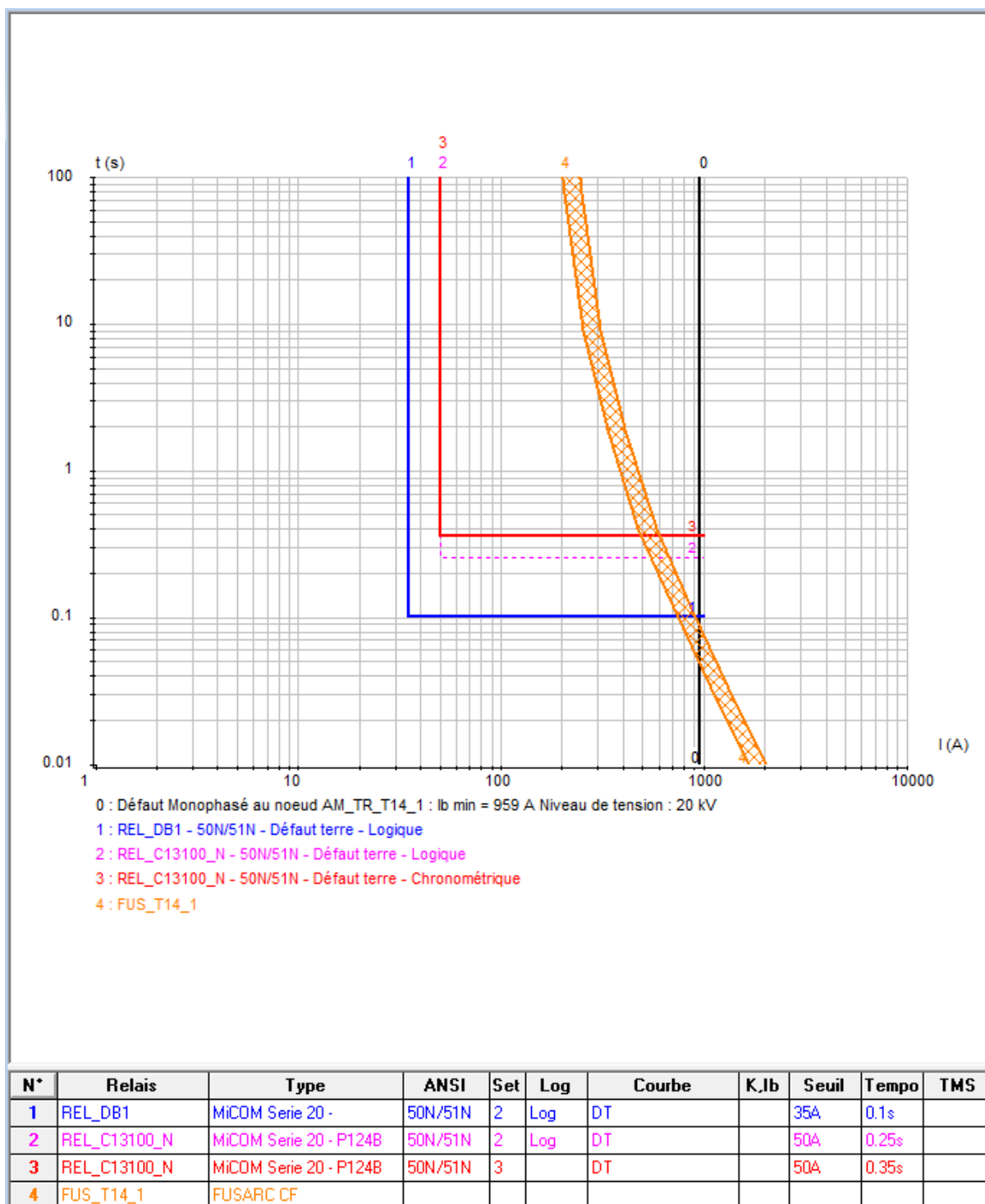
Courbe 4 : Alimentation via DGS1 - 2 GE – Icc mini en amont transformateur T14 secours



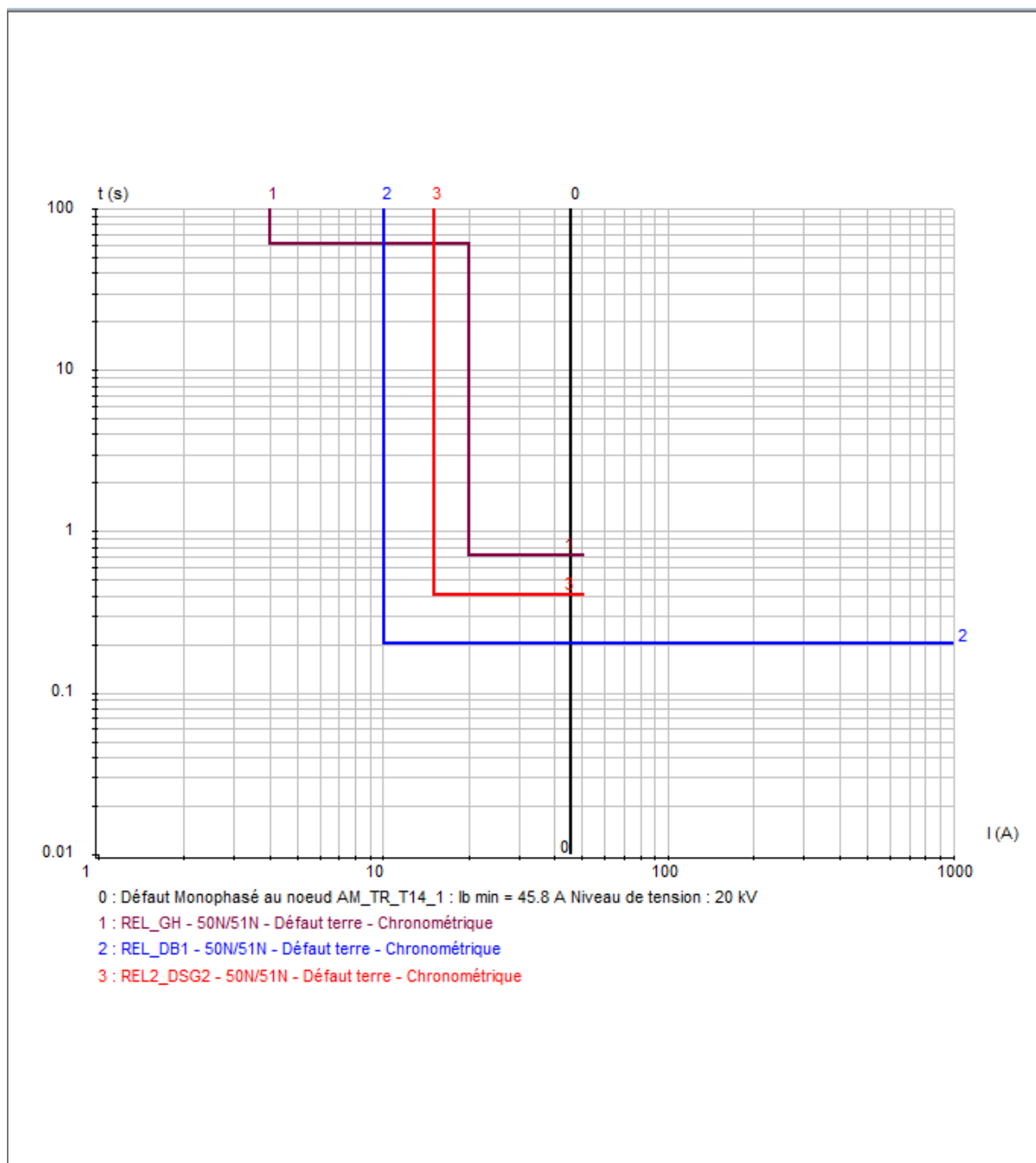
N°	Relais	Type	ANSI	Set	Log	Courbe	K.Ib	Seuil	Tempo	TMS
1	FUS_ANT_T14	FUSARC CF								
2	FUS_T14_S	FUSARC CF								
3	REL_GE	MICOM Serie 20 - P127B	50/51	1		DT		100A	1.2s	
4	REL_DGS1	MICOM Serie 20 - P127B	50/51	1		DT		260A	0.95s	

9.2 Sur courant de défaut homopolaire

Courbe 5 : Alimentation ENEDIS - Io sur boucle 20kV en amont transformateur T14

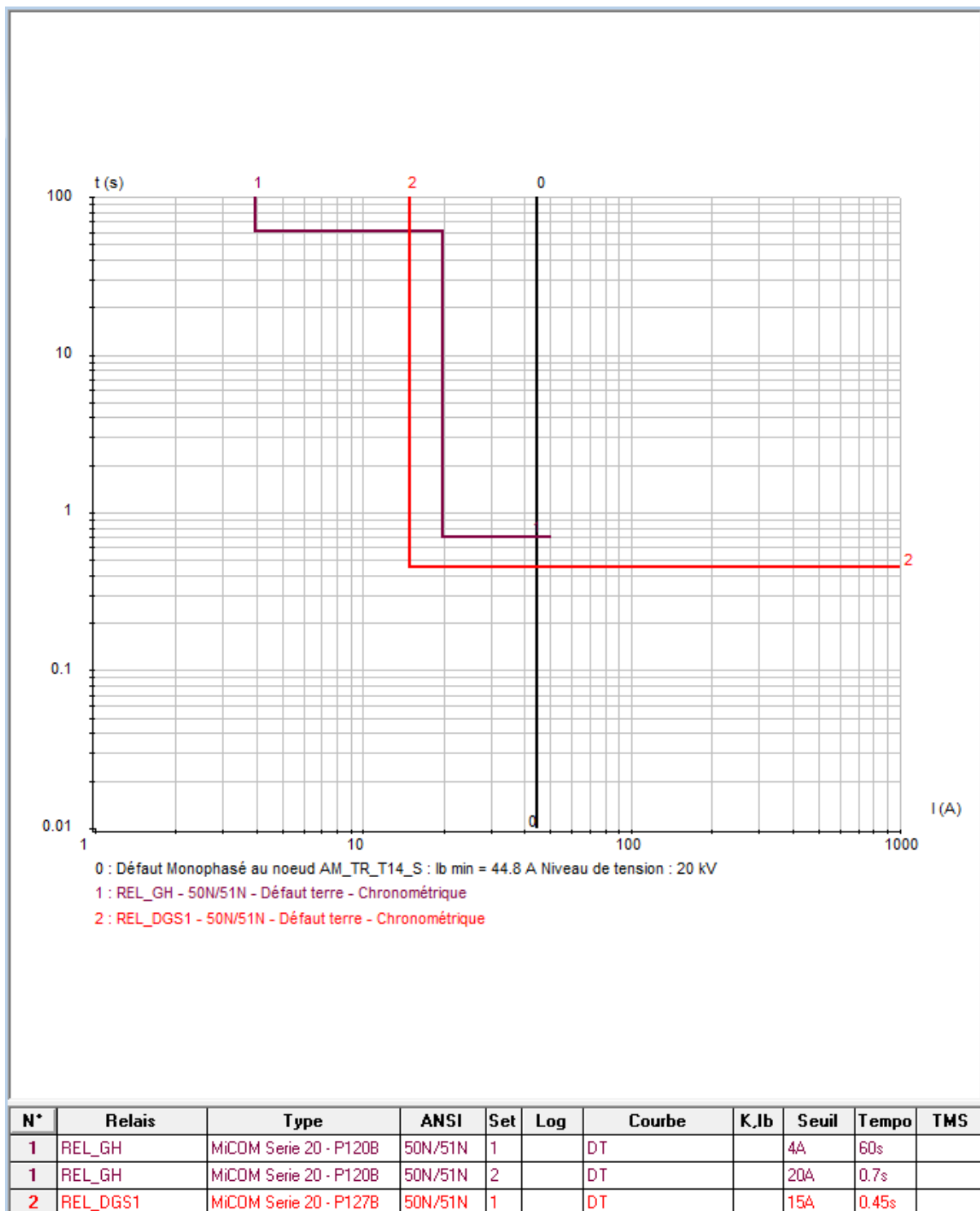


Courbe 6 : Alimentation via DGS2 - 5 GE - Io en amont T14



N°	Relais	Type	ANSI	Set	Log	Courbe	K _{Ib}	Seuil	Tempo	TMS
1	REL_GH	MICOM Serie 20 - P120B	50N/51N	1		DT		4A	60s	
1	REL_GH	MICOM Serie 20 - P120B	50N/51N	2		DT		20A	0.7s	
2	REL_DB1	MICOM Serie 20 -	50N/51N	1		DT		10A	0.2s	
3	REL2_DSG2	MICOM Serie 20 - P127B	50N/51N	1		DT		15A	0.4s	

Courbe 7 : Alimentation via DGS1 – 2 GE - Io en amont T14 Secours



Annexe 1 : caractéristiques du réseau

Source d'alimentation ENEDIS

Désignation	Arrivé ENEDIS Normal PL1	Arrivée ENEDIS Secours PL2
Mode d'alimentation (coupure d'artère, simple ou double dérivation ?)	Simple dérivation	Simple dérivation
Icc Maximum au point de livraison (MVA)	180.92	163.66
Scs Minimum au point de livraison (MVA)	178.81	155.96
Régime de mise à la terre du neutre ERDF	Impédant	Impédant
Courant de limitation de défaut	1000A	300A
Puissance ERDF souscrite (kW)		
Réglage protection poste source	50/51	
	50N/51N	

Centrale groupes

Générateur	Puissance nominale (kVA)	Tension nominale (v)	Cos ϕ	Rendement	Courant (A)	Synchrone Asynchrone	Réactance subtransitoire X"d (%)	Réactance quadratique X"q	Système d'excitation pour maintien lcc à 3In ? (oui/non)
GE1	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	12.8		
GE2	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	12.8		
GE3	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	17.3		
GE4	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	14		
GE5	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	14		
GE6	2000	400	0.8	96.9		Synchrone	13.25		

Transformateur élévateur

Transfo	Puissance nominale (kVA)	Tension primaire (V)	Tension secondaire à vide (V)	Refroidissement (huile/sec)	Couplage	Tension de court-circuit	Pertes en charge
TR GE1	2000	400			Dyn11	6%	
TR GE2	2000	400			Dyn11	6%	
TR GE3	2000	400			Dyn11	6%	
TR GE4	2000	400			Dyn11	6%	
TR GE5	2000	400			Dyn11	6%	

Générateur homopolaire

Désignation	GH
Courant de limitation de défaut	50 A
Temps maxi de limitation	5s
Courant permanent	4 A

Transformateurs de distribution

Poste	TR	Puissance nominale (kVA)	Tension primaire (kV)	Tension secondaire à vide (V)	Huile /sec	Couplage Possible entre transfos ? (oui/non)	Ucc (%)	Pertes en charge (kW)	Fusible Type & calibre réglage
T11	TR1N	1250			Huile				
	TR2N	1250			Huile				
	TR3N	1250			Huile				
	TR4N	1250			Huile				
	TR1S	1250			Huile				
	TR2S	1250			Huile				
T12	TR1	250			Huile				
T13	TR1N	1000			Huile				
	TR2N	1000			Huile				
	TR1S	1000			Huile				
T14-1	TR1	1600			Sec				
	TR2	1600			Sec				
T14-2	TR3	1600			Sec				
	TR4	1600			Sec				
T14-S	TRS1	1600			Sec				
	TRS2	1600			Sec				
T15	TR1N	1000			Huile				
	TR2N	1000			Huile				
	TR3N	1000			Huile				
	TR1S	1000			Huile				
	TR2S	1000			Huile				
T16	TR1N	800			Huile				
	TR2N	800			Huile				
	TR1S	800			Huile				
T17	TR1	250			Huile				
T18	TR1N	500			Huile				
	TR2N	500			Huile				
	TR1S	500			Huile				
T19	TR1N	1250			Huile				
	TR2N	1250			Huile				
	TR1S	1250			Huile				
T20	TR1N	1600			Huile				
	TR2N	1600			Huile				
	TR1S	1600			Huile				

Liaisons

Liaison			Mode de pose	Âme	Section	Longueur	
Tenant	Aboutissant						
PL1	T17	Boucle		Alu	150	162	
T17	T19			Alu	150	197	
T19	T18			Alu	150	248	
T18	T16			Alu	150	225	
T16	T15			Alu	150	100	
T15	T14-2			Alu	150	93	
T14-2	T14-1						
T14-1	T13				Alu	150	250
T13	T20				Alu	150	100
T20	T11				Alu	150	95
T11	PL2				Alu	150	650
PL2	PL1				Alu	150	25
T12	T14	Antenne		Alu	95	214	
	T15	Antenne		Alu	95	162	
	T16	Antenne		Alu	95	156	
	T18	Antenne		Alu	95	183	
	T19	Antenne		Alu	95	378	
	T13	Antenne		Alu	95	223	
	T11	Antenne		Alu	95	300	
	T20	Antenne		Alu	95	370	
PL1	T12	Antenne		Alu	150	378	
PL2	Centrale	Antenne		Alu	150	350	
Centrale	T12	Antenne		Alu	150	15	

Annexe 2 : schéma de modélisation

