

FONCTIONNEMENT EN RÉGIME ÎLOTÉ D'UN RÉSEAU MT

R. Belhomme, Ph. Juston, P. Cholley
EDF-DER, Service Etudes de Réseaux, FCR
1 Avenue du Général de Gaulle,
92141 Clamart CEDEX, France
Tel : + 33 1 47 65 38 60 - Fax : + 33 1 47 65 41 76
Email : regine.belhomme@edfgdf.fr

J.L. Fraisse
EDF-DEGS, Centre Expertise Technique Electricité
Tour EDF GDF, 17 Place des Reflets,
92080 Paris La Défense, France
Tel : + 33 1 49 02 70 29 - Fax : + 33 1 49 02 50 91
Email : jean-luc.fraisse@edfgdf.fr

RÉSUMÉ

Dans le contexte de la production décentralisée, cet article traite de la faisabilité du fonctionnement en régime îloté de départs MT, suite à une coupure de longue durée de l'alimentation HT. L'analyse porte ici sur le cas où les départs sont alimentés par la centrale d'un producteur indépendant raccordée directement au poste HT/MT.

Plusieurs aspects sont considérés : profil de tension en régime permanent, régulation de la tension et de la fréquence, plan de protection et régime de neutre. Les résultats d'une étude de cas effectuée sur un réseau MT réel sont présentés.

INTRODUCTION

Actuellement, EDF n'autorise pas la reprise en régime îloté de réseaux moyenne tension (MT) à partir d'une centrale d'un producteur indépendant (CPI).

Cependant, la production décentralisée de petite puissance (quelques MW) s'est développée sur les réseaux MT au cours des dernières années sous l'effet de divers facteurs [1] : tarifs spéciaux pour les énergies renouvelables, la cogénération, les usines d'incinération de déchets, réduction des coûts des matériels et nouvelles technologies de production, etc. En outre, l'application de la Directive Européenne 91/96 devrait encore accroître cette tendance.

Se pose alors naturellement la question : des départs MT connectés à un poste source HT/MT peuvent-ils être exploités en réseau séparé pendant une coupure de longue durée de l'alimentation haute tension (HT) ?

Dans des circonstances particulières, certains réseaux sont déjà amenés à fonctionner en régime îloté, par exemple :

- exploitation en régime îloté de certains réseaux HT à la suite d'incidents spécifiques (rares) ;
- réseaux industriels équipés de groupes électrogènes ;
- réseaux insulaires ou réseaux de régions éloignées isolées.

L'objectif est donc de déterminer sous quelles conditions un tel fonctionnement est possible et d'évaluer les dégradations de la qualité de service qui en résulteront, par rapport au fonctionnement normal interconnecté (suite à un

incident majeur, une alimentation de moins bonne qualité peut être préférable à une absence totale d'alimentation).

L'article traite de la reprise de départs MT suite à la perte de l'alimentation HT (absence d'alimentation sur le réseau MT) et de l'exploitation du réseau îloté qui en résulte. Les réseaux îlotés obtenus par la déconnexion voulue ou intempestive de l'alimentation HT, et les problèmes qui peuvent en découler (e.g. [2-3]) ne sont pas étudiés ici.

Plusieurs aspects doivent être considérés :

- taille maximum du réseau MT que la CPI peut alimenter,
- profil de tension en régime permanent,
- variations de tension et de fréquence lors de la reprise de charges par la CPI (régulation de la tension et de la fréquence),
- plan de protection et régime de neutre,
- harmoniques, à-coups de tension, papillotement, ...
- transmission du signal tarifaire à 175 Hz,
- conduite du réseau îloté,
- reconnexion au reste du réseau (à l'alimentation HT).

Les 4 premiers points ci-dessus sont examinés dans l'étude de cas réalisée. Les simulations ont été effectuées avec le logiciel EUROSTAG et les résultats sont présentés dans les sections suivantes.

DESCRIPTION DU RÉSEAU ÉTUDIÉ

Les réseaux MT d'EDF sont généralement constitués de départs radiaux. Ceux-ci sont, soit composés entièrement de câbles souterrains, soit mixtes et contiennent des câbles souterrains et des lignes aériennes. Dans les postes HT/MT, la taille des transformateurs varie de 5 à 100 MVA.

Le réseau étudié est un réseau typique ; il est illustré sur la Figure 1. Il comporte :

- un jeu de barres HT à 63 kV dénoté HB,
- deux transformateurs 63kV/20kV de 36 MVA de puissance apparente nominale, dénotés T1 et T2,
- deux jeux de barres 20kV dénotés MB1 et MB2,
- 10 départs MT connectés à MB1 et MB2 (pas représentés en détail sur la Figure 1).

Dans des conditions normales de fonctionnement, les jeux de barres MB1 et MB2 sont exploités séparément, tout comme les transformateurs T1 et T2 (pas de bouclage).

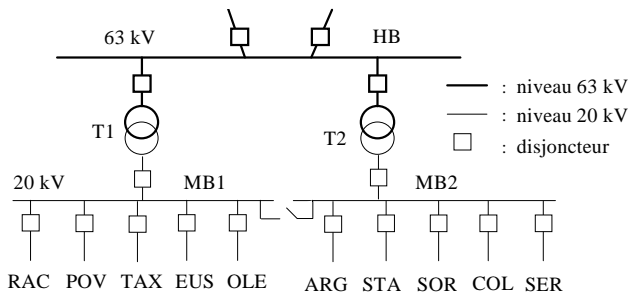


Figure 1 - Le réseau étudié dans des conditions normales de fonctionnement

Cependant les deux jeux de barres MT peuvent parfois être interconnectés dans le cas de certains modes d'exploitation spécifiques (maintenance, schéma de secours, défaut sur un des deux transformateurs, etc.). En particulier, cette caractéristique pourra être utilisée en régime floté pour alimenter des départs connectés à MB1 à partir de la CPI connectée sur le départ "SER" (voir Figure 1).

Le départ "SER", connecté à MB2, est dédié à la CPI et est composé d'un câble souterrain de 60 m de long. La CPI est composée de 4 générateurs diesel de 2 MVA, 1.6 MW, conduisant à une puissance apparente totale S_g de 8 MVA et une puissance active totale P_g de 6.4 MW ($\cos \varphi = 0.8$, $Q_g = 4.8$ Mvar).

Les 9 autres départs alimentent uniquement de la charge et ne contiennent pas d'installations de production. Ils sont composés chacun de plusieurs blocs de charges, i.e. ils sont divisés en plusieurs sections contenant une certaine quantité de charges et qui sont connectées les unes aux autres au travers d'interrupteurs télécommandés. Le facteur de puissance des charges est égal à 0.93.

TABLEAU 1 - Caractéristiques des départs "avec charges seulement"

(1)	Câble % (2)	SL MVA (3)	PL % (4)	Nb. Bl. (5)	Max % (6)	Min % (7)	L km (8)	Ir0 A (9)	I2sc kA (10)
TAX	15	1.1	17	1	17	17	9	11	1.85
EUS	8	2.2	32	3	14	4.4	34	14	0.48
OLE	6	1.3	19	5	7	1.1	26	9	0.50
RAC	85	4.4	64	4	33	6.7	14	49	2.05
POV	84	4.2	61	7	34	0.3	20	68	1.83
ARG	100	4.5	65	7	22	1.5	12	37	2.27
STA	80	4.4	63	4	26	3.2	12	38	2.24
SOR	78	4.9	71	6	27	1.4	19	57	1.58
COL	100	3.3	48	3	28	3.8	12	43	2.47
Total	-	30.3	440	-	-	-	-	326	-

Certaines caractéristiques des 9 départs "avec charges seulement" sont données dans le Tableau 1, qui est organisé de la façon suivante :

- colonne 1 : identification du départ,
- colonne 2 : proportion de câbles souterrains exprimée en pour cent de la longueur totale du départ, cette dernière étant donnée par la somme des longueurs de toutes les branches que comporte le départ,

- colonnes 3 et 4 : donnent respectivement SL la puissance apparente totale des charges en MVA et PL la puissance active totale des charges en pour cent de la puissance active nominale P_g de la CPI,
- colonnes 5, 6 et 7 : donnent respectivement, pour chaque départ, le nombre de blocs de charges et leurs tailles maximum et minimum en pour cent de P_g ,
- colonne 8 : longueur en km du chemin connectant le jeu de barre MT au point le plus éloigné du départ ; dans le cas étudié, sauf pour STA, ce point est aussi le point le plus éloigné "électriquement" (i.e. avec le chemin de plus grande impédance),
- colonne 9 : Ir_0 , valeur en A du courant résiduel I_r qui serait mesuré à tension nominale par la protection du départ (i.e. sur le départ au jeu de barres MT) quand un court-circuit monophasé est appliqué sur un départ voisin (I_r est égal à 3 fois le courant homopolaire). Ir_0 est directement relié à la capacité homopolaire totale du départ (les réseaux MT sont mis à la terre en un seul point situé sur l'arrivée MT),
- colonne 10 : valeur en kA du courant de phase mesuré par la protection de départ quand un court-circuit biphasé est appliqué sur le départ au point le plus éloigné électriquement, dans des conditions normales de fonctionnement et quand la CPI n'est pas connectée.

La dernière ligne du tableau donne, pour les colonnes 3, 4 et 9 les valeurs totales sur les 9 départs.

Charge maximum réalimentée

Seulement une partie des départs pourra être réalimentée par la CPI en régime floté ; des choix appropriés devront donc être faits. Dans les simulations présentées dans l'article, les trois configurations suivantes ont été étudiées :

- CF1 : la CPI reprend entièrement les départs TAX, EUS, OLE et une partie du départ COL,
- CF2: départ SOR en entier et une partie du départ COL,
- CF3: départ POV en entier et une partie du départ SOR.

Les configurations tiennent compte de la taille et de la structure de connexion des blocs de charges.

Modélisation

Le réseau (les 10 départs, les jeux de barres MB1 et MB2, etc.) est représenté par des modèles triphasés (séquences directe, inverse et homopolaire). Les charges sur les départs sont modélisées par des impédances constantes dans une représentation triphasée.

Les 4 générateurs diesel (identiques) de la CPI sont connectés sur le départ SER au travers de 4 transformateurs BT/MT identiques. Ils sont agrégés et représentés par un seul générateur diesel équivalent et un seul transformateur BT/MT équivalent. Les différents composants ont été modélisés en utilisant les données et informations reçues des constructeurs :

- modèle triphasé détaillé du transformateur BT/MT avec connexion étoile-triangle (triangle du côté MT) et une impédance de court-circuit de 6.5 % (base 8 MVA),

- modèle triphasé d'une machine synchrone à 3 enroulements,
- excitatrice et régulateur de tension comportant un statisme en tension de 2.5 % (relativement à la puissance réactive du générateur) et un module de sous-fréquence qui réduit la consigne de tension quand la fréquence descend en dessous d'un seuil réglable (fonction non linéaire dans une certaine gamme de fréquence),
- régulateur de vitesse fonctionnant en mode isochrone,
- modèle simplifié du moteur diesel ; les informations reçues n'ont pas permis d'obtenir un modèle complet et détaillé de ce composant.

Les paramètres des modèles des régulateurs ont été ajustés de façon à pouvoir reproduire par simulation les courbes d'enclenchement de charges fournies par les constructeurs.

PROFIL DE TENSION EN REGIME PERMANENT

En fonctionnement normal interconnecté, les régleurs en charge des transformateurs HT/MT du poste contrôlent la tension aux jeux de barres MT. Elle est maintenue égale à une valeur de consigne généralement comprise entre 20 kV et 21 kV. Pour le cas étudié, cette valeur est de 20.4 kV.

Le profil de tension sur chaque départ est alors déterminé par les chutes de tension que les flux de puissances active et réactive provoquent sur les différents tronçons. Le réseau est conçu pour garantir le respect des plages contractuelles quel que soit l'état de charge.

Dans le cas étudié, la CPI est presque directement connectée au jeu de barres MT. Lors du fonctionnement en régime îloté, le profil de tension sur les départs sera pratiquement inchangé à condition que la CPI soit capable de contrôler la tension au jeu de barre MT et de la maintenir égale à la valeur de consigne des régleurs en charge. La tension en régime permanent est donc fonction des capacités constructives de la machine en actif et réactif.

Pour une puissance réactive nominale Q_g de 4.8 Mvar et une impédance de court-circuit du transformateur de 6.5 %, la puissance réactive fournie par la CPI du côté MT est de 4.28 Mvar, correspondant à une $tg \phi$ de 0.67. A la pointe, la $tg \phi$ des départs étudiés obtenue au jeu de barres MT est bien inférieure à cette valeur. Par conséquent, le nombre de départs et de blocs de charges qui peuvent être repris en régime îloté sera principalement limité par la contrainte de puissance active.

Le Tableau 2 illustre les considérations précédentes pour la configuration CF1. Il reprend :

- la puissance active P, la puissance réactive Q et la $tg \phi$ correspondante, aux noeuds BT et MT de la machine et sur chaque départ au jeu de barres MT,
- la tension U aux noeuds BT et MT de la machine et sur chaque départ au point le plus éloigné du jeu de barres.

Tel qu'attendu, les résultats obtenus dans le cas étudié montrent qu'une CPI (presque) directement connectée au jeu de barres MT est capable de garder le profil de tension inchangé.

TABLEAU 2 - Puissances et tensions en régime permanent pour CF1

	P (MW)	Q (Mvar)	tg ϕ	U (kV)
Noeud machine BT	6.45	2.41	0.37	0.42
Noeud machine MT	6.4	1.9	0.30	20.43
TAX	1.1	0.3	0.27	20.37
EUS	2.1	0.7	0.33	19.66
OLE	1.2	0.4	0.33	20.09
COL (partiellement)	2.0	0.5	0.25	20.25

RÉGULATION DE LA TENSION ET DE LA FRÉQUENCE

Le contrôle de la tension et de la fréquence lors de variations de charges dépend fortement du comportement et de l'ajustement des paramètres des régulateurs de tension et de vitesse de la CPI. Les résultats des simulations donnent un exemple des performances d'une CPI pour les régulateurs considérés.

19 cas différents d'enclenchement de charges ont été étudiés ; ils résultent de la combinaison de

- 4 niveaux de charge initiaux pour la CPI : charge active initiale d'approximativement 0 %, 50 %, 70 % et 90 % de P_g ,
- 3 niveaux de charges reprises : approximativement 10 %, 30 % et 50 % de P_g ,
- différents types de départs : avec une large proportion de lignes aériennes, ou de câbles souterrains, ou mixtes.

N.B. dans les niveaux de charge, la taille et la structure de connexion des blocs de charges des départs ont été prises en compte.

La Figure 2 reprend les courbes de la tension et de la fréquence dans 3 cas, qui fournissent une bonne illustration des résultats obtenus. La CPI étant initialement à vide, des parties de départs représentant respectivement 10 %, 30 % et 50 % de P_g sont reconnectées. La consigne de tension de la CPI est telle qu'à pleine charge (P_g), la tension du côté MT du transformateur est approximativement égale à 20.4 kV. A vide, elle est alors égale à 20.9 kV tel qu'il apparaît sur la Figure 2.

TABLEAU 3 - Enclenchement de charges : variations de tension et de fréquence

Cas (% P_g)	fmin (Hz)	fmax (Hz)	$t_{f1\%}$ (s)	Umin (kV)	Umax (kV)	$t_{U5\%}$ (s)
10 %	48.9	50.2	1.1	20.1	20.9	0.0
30 %	47.0	50.4	1.2	18.1	20.9	2.5
50 %	45.5	50.9	4.0	16.5	20.9	3.4

Le Tableau 3 donne les valeurs minimum et maximum de la fréquence et de la tension pour les 3 cas, ainsi que les temps $t_{f1\%}$ et $t_{U5\%}$ à partir desquels les courbes restent respectivement à l'intérieur de l'intervalle de fréquence 50 ± 0.5 Hz et de l'intervalle de tension 20.4 ± 1 kV. Les limites de ces intervalles sont dessinées sur la Figure 2.

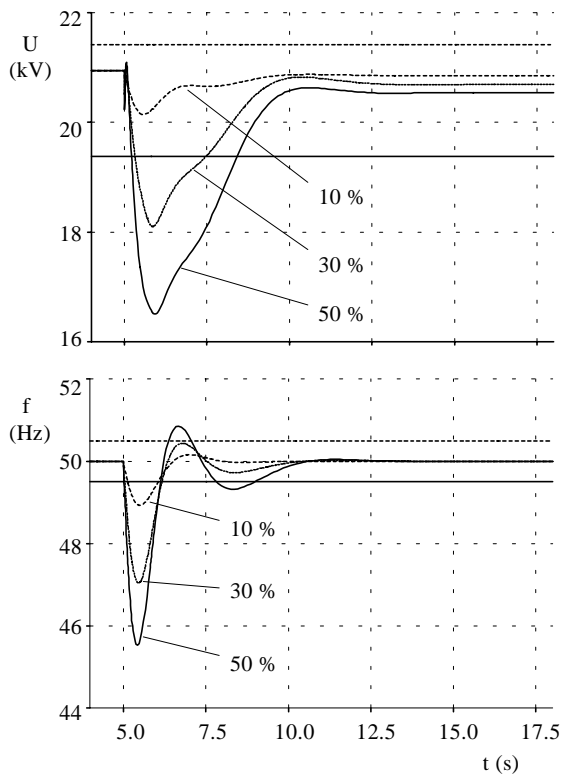


Figure 2 - Enclenchement de charges : courbes de tension et de fréquence

Les seuils de tension et de fréquence imposés pour la “protection de découplage” de la CPI sont respectivement (20.4 ± 3) kV (à déclenchement instantané pour le maximum, avec une temporisation de 1s ou 1.5s pour le minimum), et soit (50 ± 0.5) Hz, soit $(47.5/51)$ Hz à déclenchement instantané [1]. Le Tableau 3 montre que pour satisfaire à ces exigences, seule une quantité limitée de charges peut être reconnectée au même instant (moins de 30 % de P_g). En conséquence, soit des choix doivent être faits entre les blocs de charges à réalimenter, soit les seuils de la protection de découplage de la CPI doivent être changés (e.g. la taille du plus gros bloc de charges de POV est 34 % de P_g - voir Tableau 1).

Il est à noter que les discussions précédentes s’appliquent pour des charges de type “impédances constantes” (modèle utilisé dans les simulations). L’étude des variations de fréquence et de tension lors de l’enclenchement de charges de type “moteurs” doit encore être effectuée.

PLAN DE PROTECTION

Plan de protection contre les défauts polyphasés

En fonctionnement normal interconnecté, le plan de protection contre les défauts polyphasés (biphasés ou triphasés) repose principalement sur des protections ampèremétriques (ou de surintensité) à temps constant. Elles sont placées aux jeux de barres MT sur chaque départ (10 départs dans le cas étudié) et sur les arrivées (entre T1, T2 et MB1, MB2, voir Figure 1). Les protections sur les

arrivées protègent les jeux de barres MT et assurent un secours pour les protections des départs.

Quand un défaut polyphasé se produit sur un départ, différents scénarios doivent être considérés suivant le type de défaut et le type de départ. Les principaux sont décrits brièvement ci-dessous. Les temps sont donnés à titre indicatif mais ils peuvent varier ou être ajustés dans certains cas.

Dans le cas de départs mixtes (composés de lignes aériennes et de câbles souterrains), un cycle automatique de réenclenchement rapide est effectué. Soit t_0 l’instant d’apparition du défaut :

- en $t_0+0.15s$, la protection sur le départ en défaut provoque l’ouverture triphasée du disjoncteur et donc la perte de tout le départ (à condition que le courant de phase mesuré soit supérieur au seuil de réglage de la protection),
- en $t_0+0.45s$, le disjoncteur se referme ; à ce moment, soit le défaut a été éliminé et le cycle s’arrête, soit
- en $t_0+0.95s$, le disjoncteur s’ouvre à nouveau et un cycle de réenclenchements lents commence alors (refermeture après 15 à 30 s). Ce cycle lent n’a pas été considéré dans cette étude.

Il faut noter que le défaut peut aussi être éliminé par les protections des clients lorsqu’il se produit sur leurs installations. Par exemple, le plan de protection pour les clients connectés directement en MT est conçu pour éliminer un défaut 0.2 s après son apparition. Cette caractéristique doit être prise en compte dans le cycle de réenclenchement ci-dessus, e.g. entre les instants $t_0+0.15s$ et $t_0+0.45s$ ou après l’instant $t_0+0.45s$.

Pour les départs souterrains, le plan de protection n’implique pas de cycles de réenclenchements automatiques. L’ouverture triphasée du disjoncteur est définitive, et, par suite de la temporisation des protections, se produit approximativement 0.5s après l’apparition du défaut. Dans ce cas, soit le défaut est éliminé auparavant par la protection d’un client, e.g. en $t_0+0.2s$, soit tout le départ est déconnecté en $t_0+0.5s$.

Concernant les réglages des relais, le seuil de la protection d’un départ est réglé à une valeur supérieure à $1.3 I_p$ et inférieure à $0.8 I_{2sc}$, où I_p est le courant de charge maximum sur le départ, en tenant compte des schémas de secours (e.g. connexion de blocs de charges d’un départ sur un autre départ en configuration de secours) et I_{2sc} est le courant de phase mesuré sur le départ au jeu de barre MT quand un court-circuit biphasé se produit au point le plus éloigné électriquement sur le départ en question. Ainsi, tout défaut polyphasé franc devrait être détecté.

En régime îloté, deux points principaux doivent être examinés :

- la CPI fournit-elle des courants de court-circuit suffisamment élevés compte tenu du réglage actuel des protections ? Ou ce dernier doit-il être changé ?
- Comment le comportement dynamique de la CPI est-il affecté par des défauts sur les départs ? Par exemple, des relais à minimum et maximum de fréquence pourraient-ils déclencher ?

Pour illustrer le premier point, le Tableau 4 donne les valeurs de I_{2sc} en régime îloté à différents instants après l'apparition du défaut et pour deux cas : sur le départ EUS dans la configuration CF1, et sur le départ SOR dans la configuration CF2. Les temps considérés tiennent compte des scénarios présentés ci-dessus, avec et sans cycle automatique de réenclenchement, ainsi que du temps associé aux protections des clients (0.2s - voir plus haut). Par rapport à la colonne 10 du Tableau 1, les valeurs de I_{2sc} décroissent de façon significative.

TABLEAU 4 - I_{2sc} en A pour deux cas en régime îloté

Cas	I_{2sc} (A)					
	sans cycle de réenclench.			avec cycle de réenclench.		
	t_0	$t_0+0.2$	$t_0+0.5$	$t_0+0.45$	$t_0+0.65$	$t_0+0.95$
CF1-EUS	367	292	275	385	302	277
CF2-SOR	748	479	435	802	522	446

Pour le réseau MT étudié, les simulations montrent que les réglages des protections doivent être changés, e.g. le relais pour le départ SOR est réglé à 520 A et donc à une valeur supérieure à I_{2sc} pour les temporisations considérées pour les protections. Différentes possibilités sont envisageables :

- les seuils des réglages peuvent être réduits à condition qu'ils restent supérieurs à $1.3 I_p$;
- les temporisations des protections des départs peuvent être supprimées conduisant à des déclenchements instantanés ; les protections des clients ne seraient plus activées et la sélectivité du plan de protection serait perdue ;
- l'élimination des défauts polyphasés peut être effectuée par la protection de découplage de la CPI avec déclenchement instantané ; l'alimentation complète du réseau MT serait alors perdue en régime îloté.

Concernant le comportement dynamique, la Figure 3 donne les courbes de tension et de fréquence obtenues dans 3 cas de défauts permanents pour le scénario avec cycle de réenclenchement automatique :

- cas 1 : court-circuit biphasé appliqué au point le plus éloigné du départ EUS dans la configuration CF1 ;
- cas 2 : court-circuit triphasé appliqué au même point,
- cas 3 : court-circuit triphasé appliqué près du jeu de barres MT sur le départ SOR dans la configuration CF3.

La figure et les simulations d'autres cas montrent que de très grandes variations de tension et de fréquence peuvent être observées, en particulier pour des défauts proches du jeu de barres MT. Des valeurs extrêmes de l'ordre de 35 Hz et 60 Hz ont été obtenues pour la fréquence et de l'ordre de 0 kV et 30 kV pour la tension. Les valeurs de tension élevées s'expliquent par le fait que l'ouverture triphasée du disjoncteur de départ correspond en fait à un déclenchement de la charge. Plus le départ sera chargé plus la tension est susceptible d'être élevée. Bien sûr, les valeurs ci-dessus dépendent fortement du comportement des régulateurs de la CPI et de l'ajustement de leurs paramètres. D'autres types de régulateurs pourraient conduire à des valeurs différentes.

Quoi qu'il en soit, suivant la charge du départ et suivant le type et la localisation du défaut, l'apparition de défauts polyphasés et les variations subséquentes de la tension et de la fréquence pourraient entraîner le déclenchement de la protection de découplage de la CPI et conduire ainsi à la perte de l'alimentation de tous les départs.

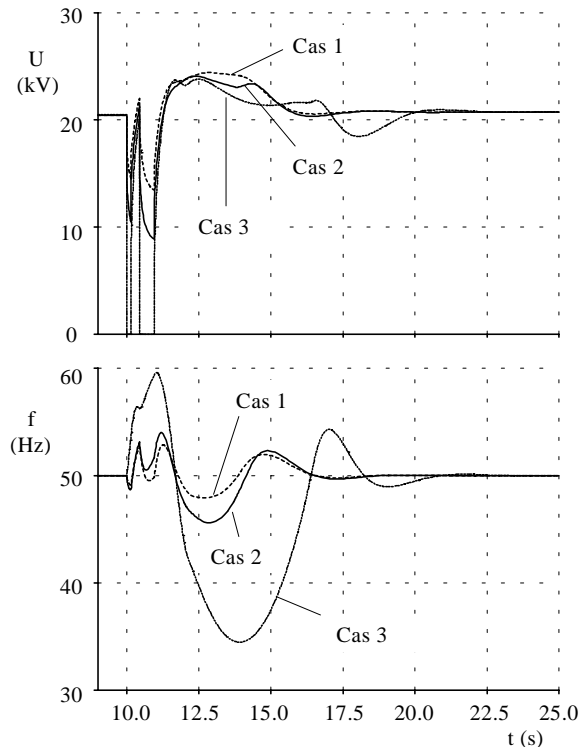


Figure 3 - Défauts polyphasés : courbes de tension et de fréquence

Plan de protection contre les défauts monophasés

Actuellement, la plupart des réseaux MT d'EDF sont mis à la terre par une impédance de limitation en un seul point situé sur l'arrivée MT. Cette impédance est constituée d'une Bobine de Point Neutre (BPN) pour les réseaux souterrains et d'une Résistance de Point Neutre (RPN) pour les réseaux mixtes.

Le plan de protection contre les défauts monophasés repose principalement sur des protections ampèremétriques (ou de surintensité) à temps constant, qui mesurent le courant résiduel I_r sur les départs au jeu de barres MT. Le seuil des relais est réglé à une valeur, d'une part suffisamment faible pour détecter un défaut, et d'autre part supérieure à $1.2 I_{r0}$ (voir Tableau 1) pour éviter le déclenchement d'un départ sain. Il est à noter que le déclenchement du relais conduit à une ouverture triphasée du disjoncteur.

Comme dans le cas des défauts polyphasés, les deux scénarios avec et sans cycle de réenclenchements automatiques sont à considérer, en fonction du type des départs. Dans certains postes, le plan de protection peut aussi faire usage d'un "disjoncteur shunt" (DS), conduisant au scénario suivant :

- en $t_0+0.15s$, le DS se ferme et connecte la phase en défaut à la terre au jeu de barres MT ; ceci provoque

dans de nombreux cas l'extinction du défaut et évite ainsi le déclenchement complet du départ,

- en $t_0+0.4s$, le DS s'ouvre ; à ce moment, soit le défaut est éliminé et le processus s'arrête, soit après un temps réglable, le plan de protection entre dans un des deux scénarios décrits précédemment (avec ou sans cycle de réenclenchements automatiques).

Enfin, des protections ampèremétriques à temps inverse sont utilisées pour détecter des défauts résistants. Ces protections ne sont pas considérées dans le présent article.

En régime îloté, la mise à la terre du neutre située sur l'arrivée est normalement perdue, conduisant alors à deux possibilités :

- soit exploiter le réseau en régime de neutre isolé,
- soit recréer la mise à la terre du réseau en un autre point (seulement pour le fonctionnement en régime îloté), e.g. du côté MT du transformateur de la CPI.

Dans le premier cas, certains défauts pourraient ne pas être détectés par les protections des départs. En effet, le courant résiduel I_r sur le départ en défaut est égal à la somme des courants capacitifs des départs sains. Sa valeur peut être inférieure au seuil de la protection. Par exemple, dans la configuration CF2, pour un défaut monophasé au point le plus éloigné du départ SOR, la valeur de I_r sur le départ SOR au jeu de barres MT est de 35 A tandis que la valeur du seuil est d'au moins 68 A. Dans ce cas, le défaut ne peut être éliminé que par le découplage de la CPI.

En outre, l'exploitation à neutre isolé n'est adaptée que pour des réseaux où la somme des valeurs des I_{r0} est inférieure à 30 A [4], sinon des phénomènes de surtensions peuvent se produire pour des défauts réamorçants.

La deuxième solution sera donc préférée. Dans le cas étudié, les résultats suivants ont été observés quand, par exemple, le neutre est mis à la terre par une RPN de 40 Ω placée du côté MT du transformateur de la CPI.

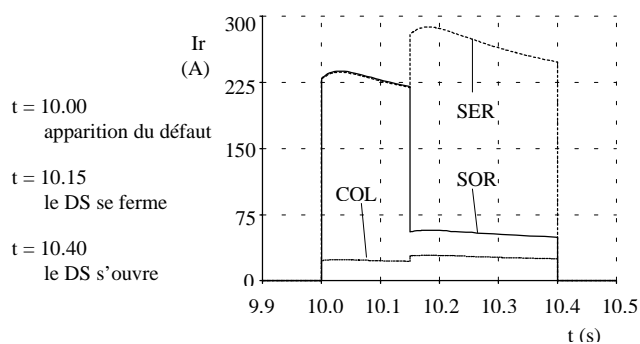


Figure 4 - CF2 : courants résiduels pour un défaut sur SOR

Les courants résiduels I_r mesurés par les protections des départs pour des défauts monophasés sont proches des valeurs mesurées quand le réseau MT est alimenté par le transformateur HT/MT du poste. En conséquence, le plan de protection continue à fonctionner. La Figure 4 donne les valeurs de I_r sur les départs dans la configuration CF2 pour un défaut au point le plus éloigné du départ SOR ; le défaut est éliminé par la fermeture du DS.

Concernant le comportement dynamique de la CPI, la fréquence décroît après l'apparition du défaut à cause de la puissance active dissipée dans la RPN (environ 3 MW). De plus, pour les départs fortement chargés, l'application du cycle de réenclenchements automatiques, conduit à de grandes variations de la tension et de la fréquence. Ces variations peuvent entraîner le découplage de la CPI. En effet, chaque ouverture (respectivement fermeture) du disjoncteur d'un départ revient à un déclenchement (respectivement enclenchement) triphasé de tout le départ et donc de la charge correspondante. La Figure 5 illustre les considérations ci-dessus pour la configuration CF2 dans 2 cas :

- un défaut éliminé par la fermeture du DS,
- un défaut permanent avec cycle de réenclenchement automatique après l'ouverture du DS. Le cycle lent de réenclenchements automatiques n'y est pas montré ; il commence 15 à 30 s après l'apparition du défaut et correspond à des enclenchements et déclenchements de charge successifs.

Il importe de souligner à nouveau que le comportement dynamique de la CPI en termes des variations de la tension et de la fréquence dépend très fortement des régulateurs et du réglage de leurs paramètres.

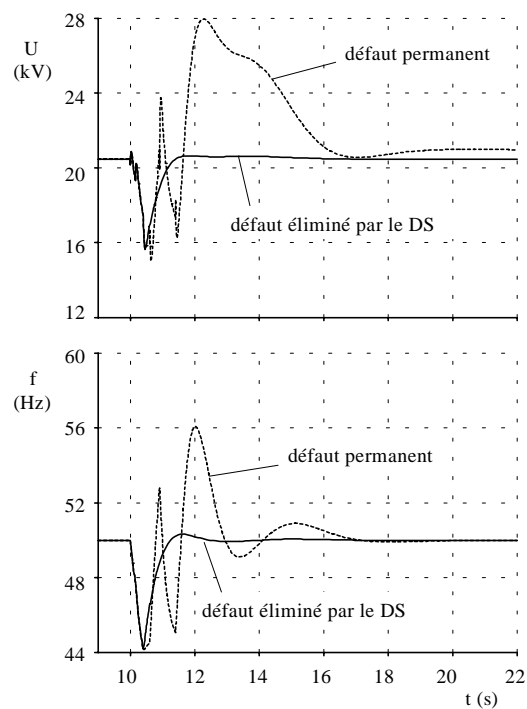


Figure 5 - Défauts monophasés : courbes de tension et de fréquence

CONCLUSIONS

Le fonctionnement en régime îloté de départs MT a été examiné dans le cas où une centrale d'un producteur indépendant (CPI) est connectée presque directement au jeu de barres MT d'un poste source HT/MT. Différents aspects ont été étudiés, conduisant aux conclusions suivantes.

En régime îloté, la CPI doit être capable de maintenir le profil de tension en régime permanent, à condition que la capacité en puissance active de la machine ne soit pas dépassée.

Suivant le réseau MT considéré (taille des blocs de charges, réglages des protections, types des départs, etc.), une analyse approfondie du plan de protection doit être effectuée. Les réglages des relais devront dans certains cas être changés pour les protections des départs et pour la protection de découplage de la CPI.

De toute manière, tant pour les aspects dynamiques que pour les caractéristiques en régime permanent, des choix entre les blocs de charges à réalimenter doivent être effectués.

Cet article résulte d'une première étude. Les investigations doivent être poursuivies, portant par exemple sur l'influence du type de charges (e.g. moteurs) et des régulateurs de tension et de vitesse, sur d'autres configurations quant à la localisation de la CPI dans le réseau MT, sur les problèmes liés à la présence de plusieurs CPI sur le même réseau. En particulier, l'impact du fonctionnement en régime îloté sur la qualité de l'alimentation doit être évalué en se plaçant du point de vue du client.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.L. Fraisse, P. Michalak, P. Juston, A. Grandet, "Conditions techniques de raccordement des ouvrages de production au réseau moyenne tension - Développement d'un filtre actif 175 Hz pour producteur", dans les *Actes du CIREN'97*, Vol. 1, Article No. 5.14, Birmingham, UK, 2 au 5 juin, 1997.
- [2] R. Belhomme, M. Plamondon, H. Nakra, D. Desrosiers, C. Gagnon, "Case study on the integration of a non-utility induction generator to the Hydro-Quebec distribution network", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1677-1684.
- [3] L. Simoens, W. Hermans, F. Wellens, "Conditions de raccordement liées à la protection pour les producteurs indépendants d'énergie électrique en Belgique", dans les *Actes de la 37^e Session CIGRE*, Article No. 34-202, septembre 1998.
- [4] D. Griffel, Y. Harmand, J. Bergeal, M. Clément, "Nouvelles techniques de mise à la terre des neutres sur les réseaux MT", *Revue Générale de l'Electricité*, No. 11, décembre 1994.