



Prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'une installation de production d'énergie électrique au réseau public HTB ≥ 50 kV des Zones Non Interconnectées

SEI REF 01

Identification : Documentation technique de référence – SEI REF 01
Version : V5

Nb de pages : 40

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	01/06/2005	Version initiale	
2	15/01/2007	Compléments sur les schémas de raccordement, dispositions constructives, modes communs, le réglage des protections	V1
3	11/09/2008	Précisions sur les études de stabilité, la mise à la terre du neutre, les domaines de tension, la production hydraulique	V2
4	01/11/2018	Refonte complète du document	V3
5	10/10/2025	Prise en compte de l'arrêté du 9 juin 2020 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement aux réseaux d'électricité, précisions sur la section 3.8. « stabilité, rupture de synchronisme » et sur l'annexe 1.	V4

RESUME / AVERTISSEMENT

Le présent référentiel fixe les dispositions constructives et organisationnelles ainsi que les règles techniques que doivent respecter les installations de production d'énergie électrique en vue de leur raccordement au réseau public haute tension supérieure ou égale à 50 kV des zones non interconnectées de Corse et des quatre départements d'outre-mer, Guyane, Guadeloupe, Martinique et La Réunion.

SOMMAIRE

1. GENERALITES	4
1.1. REFERENCES REGLEMENTAIRES	4
1.2. APPLICATION DU DOCUMENT	4
1.3. PLAGES NORMALES ET EXCEPTIONNELLES DE VARIATION DE LA TENSION ET DE LA FREQUENCE DU RESEAU HTB 6	
1.3.1. Plages de variation de la tension	6
1.3.2. Plages de variation de la fréquence	7
2. RACCORDEMENT	7
2.1. DOMAINE DE TENSION DE RACCORDEMENT DE REFERENCE	7
2.2. DONNEES A FOURNIR PAR LE PRODUCTEUR.....	7
2.3. ETUDE DE RACCORDEMENT EFFECTUEE PAR LE GESTIONNAIRE DE RESEAU.....	8
2.4. TENSION DE DIMENSIONNEMENT U_{DIM}	8
2.5. SCHEMA DE RACCORDEMENT.....	9
2.6. CONVENTIONS DE RACCORDEMENT ET D'EXPLOITATION.....	9
3. FONCTIONNALITES ET PERFORMANCES DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION.....	10
3.1. COURANTS DE COURT-CIRCUIT	10
3.1.1. Mise à la terre du neutre HTB.....	10
3.1.2. Système de protection contre les courants de court-circuit	10
3.2. CAPACITES CONSTRUCTIVES EN PUISSANCE REACTIVE ET EN REGULATION DE TENSION	10
3.2.1. Capacités constructives en puissance réactive	10
3.2.2. Capacités constructives du transformateur de groupe	11
3.2.3. Capacités constructives en régulation de tension	12
3.2.4. Capacité constructive à participer au réglage RESCU-F	12
3.3. CAPACITES CONSTRUCTIVES EN REGLAGE DE FREQUENCE.....	13
3.3.1. Réserve primaire et régulation primaire de fréquence.....	13
3.3.2. Réserve primaire « lente ».....	14
3.3.3. Réglage secondaire de fréquence	14
3.4. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS DE TENSION	15
3.5. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS DE FREQUENCE.....	15
3.6. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS EN TENSION ET EN FREQUENCE	16
3.7. TENUE AUX CREUX DE TENSION.....	17

3.8. STABILITE, RUPTURE DE SYNCHRONISME	17
3.8.1. Stabilité en petits mouvements	18
3.8.2. Stabilité sur report de charge	18
3.8.3. Stabilité sur court-circuit	19
3.8.4. Comportement en cas de rupture de synchronisme	19
3.9. PERTURBATIONS DE LA QUALITE DE L'ONDE DE TENSION	19
3.10. CONDITIONS DE COUPLAGE AU RESEAU	20
3.11. RECONNEXION SUITE A DECONNEXION FORTUITE	20
3.12. PARTICIPATION A LA RECONSTITUTION DU RESEAU	21
3.13. INTERFAÇAGE AVEC LE SYSTEME DE CONDUITE DU GESTIONNAIRE DE RESEAU	21

4. REGLES D'EXPLOITATION 22

4.1. REGLAGE DES PROTECTIONS DE L'INSTALLATION	22
4.2. CENTRE DE CONDUITE DE L'INSTALLATION	22
4.3. PROGRAMME D'APPEL	22
4.4. PARTICIPATION AUX REGLAGES DE FREQUENCE ET DE TENSION	23

ANNEXE 1 : INFORMATIONS A FOURNIR AU GESTIONNAIRE DE RESEAU. 24

ANNEXE 2 : CAHIER DES CHARGES DES SIMULATIONS 27

ANNEXE 3 : PRINCIPES DE CALCUL DES MARGES DE STABILITE 39

1. GENERALITES

1.1. REFERENCES REGLEMENTAIRES

- Décret n° 2015-1084 du 27 août 2015 relatif à la compatibilité électromagnétique des équipements électriques et électroniques ;
- Arrêté du 9 juin 2020 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement aux réseaux d'électricité

1.2. APPLICATION DU DOCUMENT

Le présent document fixe les dispositions constructives et organisationnelles que doivent respecter les installations de production d'énergie électrique pour leur raccordement au réseau électrique HTB des zones non interconnectées au réseau métropolitain continental des Départements d'Outre Mer et de la Corse.

« $P_{installée}$ » désigne la puissance installée de l'installation de production d'électricité qui s'entend comme la somme des puissances actives unitaires maximales des machines électrogènes susceptibles de fonctionner simultanément disposant d'un même point de raccordement aux réseaux publics d'électricité.

Les dispositions du présent document s'appliquent à toute installation de production devant faire l'objet d'un premier raccordement au réseau HTB dès lors que le producteur ne dispose pas d'une proposition technique et financière du gestionnaire du réseau pour ce raccordement en cours de validité à la date de publication de la version en cours du présent document. Elles s'appliquent également aux installations de production existantes subissant une modification substantielle dès lors que le producteur ne dispose pas, pour cette modification, de proposition technique et financière en cours de validité à cette même date.

Constituent, notamment, une modification substantielle de l'installation de production au sens de l'article 66 de l'arrêté du 9 juin 2020 :

- « toute modification qui a pour effet de majorer de 10 % ou plus, la puissance [$P_{nette\ max}$], à elle seule ou en s'ajoutant à de précédentes augmentations de puissance intervenues depuis le raccordement initial » ;
- « les investissements de rénovation relatifs aux obligations d'achat ou au complément de rémunération ».

Toutes les prescriptions du présent document s'appliquent à l'ensemble de l'installation de production modifiée lorsque :

- « La modification substantielle a pour but ou conséquence de majorer de 50% ou plus la puissance $P_{installée}$, à elle seule ou en s'ajoutant à de précédentes augmentations de puissance intervenues depuis le raccordement initial » ;
- La modification substantielle consiste en les investissements de rénovation mentionnés au 1° de l'article 66 de l'arrêté du 9 juin 2020.

Dans les autres cas de modification substantielle que ceux indiqués ci-dessus, les prescriptions du présent paragraphe, des paragraphes §2, §3.1, §3.12, §3.13 et §4 sont applicables à la totalité de l'installation de production, et les autres prescriptions sont applicables uniquement aux parties nouvelles ou modifiées de l'installation de production.

Pour l'application du présent référentiel, les termes mentionnés ci-dessous ont les significations suivantes :

Cahier des charges des informations : Document remis par le gestionnaire du réseau HTB à l'utilisateur définissant la nature des informations à échanger pour assurer la conduite de l'installation.

Cahier des charges fonctionnel du système de protection : Document remis par le gestionnaire du réseau HTB à l'utilisateur définissant les besoins fonctionnels auxquels doit satisfaire le système de protection de l'installation pour l'élimination des défauts. Le cahier des charges du système de protection est établi en cohérence avec les règles de protection du réseau HTB. Il ne traite pas des besoins de protection interne à l'installation de l'utilisateur, notamment ceux relatifs à la sécurité des personnes et des biens.

Cellule disjoncteur : Ensemble d'appareillages composé de sectionneur, disjoncteur, réducteurs de mesures et protections.

Convention d'exploitation : Document contractuel liant l'utilisateur et le gestionnaire du réseau HTB. La convention d'exploitation précise en particulier les règles nécessaires pour permettre l'exploitation de l'installation de l'utilisateur en cohérence avec les règles d'exploitation du réseau HTB.

Convention de raccordement : Document contractuel liant l'utilisateur et le gestionnaire du réseau HTB. La convention de raccordement précise les modalités techniques, juridiques et financières du raccordement et, en particulier, les caractéristiques auxquelles doit satisfaire l'installation afin qu'elle puisse être raccordée au réseau HTB.

Défaut d'isolement : Situation provoquée par un aléa, d'origine électrique ou non, qui génère, quelque part sur le réseau ou dans les installations raccordées, une défectuosité de l'isolement. L'occurrence d'un défaut conduit généralement à un courant anormal ou à des décharges disruptives là où a lieu le défaut et provoque le fonctionnement du système de protection. Durant cette période, et selon le type de défaut (monophasé, polyphasé), des surintensités, surtensions et baisses de tension affectent le réseau et ses utilisateurs.

Dispositif de découplage : Dispositif ayant pour objet de détecter l'existence d'une situation critique qui nécessite de séparer tout ou partie de l'installation de l'utilisateur du réseau HTB.

Domaine normal d'une installation de production : Domaine de fonctionnement dans lequel les groupes de production de l'installation peuvent fonctionner sans limitation de durée.

Domaine exceptionnel d'une installation de production : Domaine de fonctionnement pour lequel les groupes de production de l'installation peuvent subir des contraintes supérieures à celles du régime normal, avec, par conséquent, une durée de fonctionnement limitée dans le temps.

Ecrolement de la tension : Situation du réseau caractérisée par une baisse excessive, non maîtrisée, de la tension.

Groupe de production : Association de machines tournantes ou de générateurs statiques permettant de transformer une énergie primaire (thermique, hydraulique, éolienne, marémotrice, solaire, ...) en énergie électrique.

Insensibilité du réglage fréquence-puissance : Pour un groupe de production, la zone d'insensibilité, exprimée en mHz, est définie par les valeurs limites (en plus et en moins) de la variation de la fréquence pour lesquelles le groupe de production ne réagit pas (régulation primaire inactive). Cette notion s'applique donc à l'ensemble régulateur et groupe de production. On peut ainsi distinguer une zone d'insensibilité involontaire du régulateur, due aux imperfections constructives de la chaîne de régulation et des actionneurs, une zone d'insensibilité process due aux variations naturelles du process entraînant le groupe de production, et une bande morte ajustée volontairement sur le régulateur du groupe de production.

Installation de consommation : Unité ou ensemble d'unités de consommation de l'électricité installées sur un même site, exploitées par le même utilisateur et bénéficiant d'une convention de raccordement unique.

Installation de production : Equipements destinés à la production d'énergie électrique qui comprennent un ou plusieurs groupes de production ainsi que des appareillages auxiliaires (poste d'évacuation, auxiliaires de production...). Ces équipements sont regroupés sur un même site et exploités par le même producteur qui bénéficie à ce titre d'une convention de raccordement unique.

Nota : les équipements constitutifs d'une installation de production peuvent différer en fonction de la nature de son énergie primaire (thermique, hydraulique, éolienne, marémotrice ...).

Jeu de barres : Liaison électrique interne à un ouvrage assurant la continuité entre toutes les cellules disjoncteur d'un même niveau de tension.

Liaison de raccordement : Liaison électrique entre une installation et un poste du réseau HTB constituée normalement d'une cellule disjoncteur à chaque extrémité et de conducteurs (ligne aérienne et/ou câble souterrain) de liaison.

Liaison de raccordement en piquage : Liaison électrique entre une installation et un élément de structure du réseau HTB ne comportant qu'une cellule disjoncteur située coté installation de production.

Point de livraison (PdL) : Point physique du réseau où les caractéristiques techniques d'une fourniture sont spécifiées. Le point de livraison peut différer du point frontière entre le réseau HTB et l'installation de l'utilisateur ou de son point de comptage.

Point de raccordement : Point physique projeté pour la connexion de l'installation au réseau HTB par l'intermédiaire d'ouvrages de raccordement à construire.

Polygone [U, Q] : Graphe délimitant pour un point de fonctionnement donné en puissance active, les possibilités d'une installation de production à fournir ou à absorber de la puissance réactive, sans limitation de durée, en fonction de la variation de la tension au point de livraison. Le polygone [U, Q] résulte de l'intersection du parallélogramme [U, Q] de dimensionnement de l'installation avec les droites horizontales représentant les limites du régime normal de tension du réseau.

Programme de disponibilité : Programme horaire des disponibilités en puissance communiquées par le producteur.

Programme de marche : Programme de production demandé par le gestionnaire du réseau HTB à appliquer par le producteur.

Puissance active maximale de l'installation de production $P_{nette\ max}$: Valeur contractuelle définissant la puissance active maximale nette que fournira l'installation de production au point de livraison en fonctionnement normal, les réserves de réglage fréquence/puissance étant utilisées à leurs limites constructives. Selon le type d'installation, $P_{nette\ max}$ peut varier suivant des conditions externes comme la température de l'air ou de l'eau de refroidissement ou le combustible utilisé par exemple. La valeur maximale qu'elle peut atteindre est désignée par $\Pi_{nette\ max}$.

Qualité de l'électricité : La qualité de l'électricité se vérifie par le maintien dans les plages contractuelles, réglementaires ou normatives :

- des paramètres caractéristiques des ondes de tension et de courant du réseau électrique,
- de la continuité et de la fiabilité de l'alimentation des utilisateurs.

Les perturbations relatives au déséquilibre en tension et aux courants harmoniques sont mesurées avec une durée d'intégration de 10 minutes.

Régime normal : Régime de fonctionnement au cours duquel les caractéristiques fondamentales d'un système restent dans les domaines, dits normaux. On distingue :

Le régime normal de fonctionnement d'une installation : Régime au cours duquel la tension, le courant et la fréquence de fonctionnement sont compris dans les limites réglementaires ou contractuelles, et les éventuelles liaisons de secours sont disponibles.

Le régime normal d'un réseau : Régime au cours duquel les utilisateurs raccordés au réseau ont un régime normal d'alimentation,

- aucun ouvrage n'est en régime de surcharge,
- les critères de sûreté de fonctionnement et de secours sont assurés.

Le régime normal du système électrique : Régime au cours duquel la fréquence et la tension sont maintenues à l'intérieur du domaine normal, réglementaire ou normatif, en tout point du système,

- les réserves de production et de réglage sont disponibles,
- les critères de sûreté de fonctionnement et de secours sont assurés.

Régime exceptionnel (d'alimentation, d'un réseau ou du système électrique) : Régime de fonctionnement au cours duquel certaines caractéristiques fondamentales sortent pour des durées limitées du domaine normal.

Régime de surcharge (d'intensité) : Pour des durées limitées les ouvrages de réseau peuvent être soumis à des intensités supérieures à celles assignées par le constructeur en régime permanent, ils sont alors en régime de surcharge.

Services auxiliaires « système » : Contributions élémentaires fournies par les installations de production qui permettent de constituer les services « système ». Il s'agit principalement des contributions au réglage de la fréquence et de la puissance active (réglage f/P) et au réglage de la tension et de la puissance réactive (réglage U/Q), ainsi que de la participation à la reconstitution du réseau suite à un incident.

Tension de dimensionnement (U_{dim}) : Tension théorique définie par le gestionnaire du réseau HTB, après concertation avec le producteur, et destinée à optimiser, lors de la conception, l'utilisation de la capacité de l'installation à participer au réglage de tension. Elle est normalement fixée en fonction de la tension nominale du réseau HTB à 66 kV (réseau 63 kV) ou 94 kV (réseau 90 kV).

Tension nominale d'un réseau (U_n) : Tension qui a servi de référence à la conception du réseau et qui est utilisée par la suite pour le désigner. Elle est de 90 kV en Corse et en Guyane, de 63 kV en Martinique, en Guadeloupe et à La Réunion.

Tension de prise (U_{prise}) : Tension délivrée à vide par le transformateur d'un groupe de production aux bornes de la prise en service.

Utilisateur (du réseau HTB) : L'utilisateur est la personne physique ou morale qui demande ou dispose d'un accès au réseau HTB (producteur, consommateur, gestionnaire d'un réseau de distribution...).

1.3. PLAGES NORMALES ET EXCEPTIONNELLES DE VARIATION DE LA TENSION ET DE LA FREQUENCE DU RESEAU HTB

1.3.1. Plages de variation de la tension

Référence : article 74 de l'arrêté du 9 juin 2020

Système électrique insulaire	Tension nominale U_n	Plage exceptionnelle de variation de la tension	Plage normale de variation de la tension		Plage exceptionnelle de variation de la tension
		Plage basse	U_{HTBmin}	U_{HTBmax}	Plage haute
Guadeloupe, Martinique, Réunion	63 kV	50 kV à 55 kV	55 kV	72 kV	72 kV à 74 kV
Corse, Guyane	90 kV	72 à kV 78 kV	78 kV	100 kV	100 kV à 102 kV

A titre informatif, les réseaux peuvent fonctionner dans les plages exceptionnelles basses et hautes de tension pendant des durées limitées (5 à 10 minutes) quelques fois par an.

1.3.2. Plages de variation de la fréquence

Référence : article 87 de l'arrêté du 9 juin 2020

Plage exceptionnelle de variation de la fréquence	Plage normale de variation de la fréquence	Plage exceptionnelle de variation de la fréquence
Plage basse		Plage haute
44 Hz à 48 Hz	48 Hz à 52 Hz	52 Hz à 55 Hz

A titre informatif, les réseaux peuvent fonctionner dans les plages exceptionnelles basses et hautes de fréquence pour des durées limitées :

- [44 Hz, 46 Hz] pendant quelques secondes, quelques fois par an (régime transitoire sur incident),
- [46 Hz, 48 Hz] pendant quelques minutes, 10 à 30 fois par an (régime transitoire sur incident),
- [52 Hz, 55 Hz] pendant quelques secondes, quelques fois par an (régime transitoire sur incident).

2. RACCORDEMENT

2.1. DOMAINE DE TENSION DE RACCORDEMENT DE REFERENCE

Référence : article 67 de l'arrêté du 9 juin 2020

Le domaine de tension de raccordement de référence d'une installation de production est déterminé en fonction de sa puissance active maximale $P_{installée}$, conformément au tableau suivant :

DOMAINE DE TENSION DE RACCORDEMENT DE REFERENCE	PUISSANCE ACTIVE $P_{installée}$
HTA	≤ 12 MW
HTB	> 12 MW

2.2. DONNEES A FOURNIR PAR LE PRODUCTEUR

Référence : article 6 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Les informations nécessaires à l'étude de raccordement effectuée par le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité conformément aux dispositions de l'article D. 342-9 du code de l'énergie, fournies et attestées exactes par le producteur, précisent notamment :

- la localisation de l'installation de production d'électricité ;

- sa puissance $P_{\text{installée}}$;
- les caractéristiques techniques de l'installation de production d'électricité ;
- son apport en courant de court-circuit vers le réseau public de transport d'électricité, calculé conformément à la norme internationale CEI 60909 » ;
- sa puissance $P_{\text{nette max}}$ et la puissance unitaire maximale de chaque machine électrogène constituant l'installation.

« Le producteur communique en outre au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité :

- les diagrammes $[U, Q]$ propres à l'installation, au point de raccordement, pour différentes valeurs de puissance active fournie et, éventuellement, de température ambiante ;
- [l'évaluation de] la stabilité de l'installation en cas de court-circuit, de variation de tension et de report de charge dans les conditions d'études définies dans la documentation technique de référence du gestionnaire du réseau public de transport d'électricité » ;
- le schéma des protections de son installation ainsi que leurs réglages ;
- ainsi que l'ensemble des informations listées en annexe 1 du présent document.

2.3. ETUDE DE RACCORDEMENT EFFECTUEE PAR LE GESTIONNAIRE DE RESEAU

Référence : article 7 de l'arrêté du 9 juin 2020

« L'étude de raccordement effectuée par le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité prend en compte :

- les caractéristiques des ouvrages existants ou décidés du [système électrique considéré] ;
- les caractéristiques de l'installation à raccorder qui sont communiquées par le producteur ;
- les caractéristiques des installations déjà raccordées ;
- les engagements de raccordement antérieurs qui s'imposent au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité.

L'étude examine les divers scénarii de fonctionnement du système électrique après raccordement de l'installation de production, en situation normale et en cas d'aléa », conformément à [l'article 2.1 « Études RTE pour le raccordement » de la documentation technique de référence de RTE appliquée par EDF-SEI]. L'étude détermine également si l'installation de production doit faire partie du plan de reconstitution du réseau établi par le gestionnaire en application de [l'article 33 du cahier des charges type annexé au décret du 23 décembre 2006 susvisé]. »

« Le projet de raccordement est défini de telle sorte que l'insertion de la nouvelle installation soit compatible avec les prescriptions du présent arrêté, avec les autres obligations réglementaires auxquelles le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité est lui-même soumis et avec les autres engagements contractuels auxquels ce dernier a souscrit, notamment en matière de qualité de l'électricité. A cette fin, l'étude identifie les éventuelles contraintes que le raccordement de l'installation de production est susceptible de faire peser, notamment sur :

- le respect des intensités admissibles dans les ouvrages du réseau public de transport d'électricité, en régime permanent et lors des régimes de surcharge temporaire admissibles en cas d'indisponibilité d'éléments du réseau [lorsque les règles d'exploitation du réseau le permettent] ;
- le respect, en cas de défauts d'isolement, du pouvoir de coupure des disjoncteurs, de la tenue thermique et de la tenue aux efforts électrodynamiques des ouvrages du réseau public de transport d'électricité et des installations des utilisateurs déjà raccordés ;
- la tenue de la tension sur le réseau public de transport d'électricité dans les plages normales lors de la mise en service ou du déclenchement de l'installation ainsi que lors de ses variations de charge. En régime exceptionnel du réseau, la tension ne doit pas dépasser les valeurs admissibles par les matériels ou descendre vers des valeurs qui risquent de provoquer un effondrement de tension ;
- le respect des performances d'élimination des défauts d'isolement ;
- la maîtrise des phénomènes dangereux pour la sûreté du système électrique tels que les déclenchements en cascade, les effondrements de tension et les ruptures de synchronisme ;
- le maintien de la qualité de l'électricité à un niveau compatible avec les besoins des utilisateurs. »

2.4. TENSION DE DIMENSIONNEMENT U_{DIM}

Référence : article 8 de l'arrêté du 9 juin 2020

« En fonction des résultats de l'étude du raccordement, la tension de dimensionnement (U_{dim}) qui permet d'optimiser le fonctionnement de l'installation de production est fixée à l'intérieur de la plage de variation de la tension »

La valeur retenue pour U_{dim} est consignée dans la convention de raccordement.

2.5. SCHEMA DE RACCORDEMENT

Référence : article 68 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Le raccordement de l'installation de production doit garantir la mise à disposition de la puissance installée sur le site aussi bien en situation normale de réseau qu'en cas d'indisponibilité d'une des liaisons de raccordement.

Sont interdits les raccordements dits « en piquage » sur une liaison existante. »

Les schémas de raccordement possibles sont :

- dans le cas général :
 - au moins deux liaisons HTB distinctes vers des postes HTB différents (la présence de plusieurs groupes de production au sein d'une même installation peut rendre nécessaire la réalisation de plus de deux liaisons) ;
 - les cellules des liaisons HTB et le ou les jeux de barres HTB du poste d'évacuation (y compris sectionnements et/ou tronçonnements) sont la propriété du gestionnaire de réseau, de même que les auxiliaires et le contrôle commande, avec des limites précisées dans la convention de raccordement ;
 - les ouvrages du poste d'évacuation propriété du gestionnaire de réseau sont réalisés par le producteur conformément aux spécifications fournies par le gestionnaire de réseau et font l'objet d'une remise gratuite ; ils sont exploités et conduits exclusivement par le gestionnaire de réseau ;
 - le jeu de barres HTB matérialise le point de livraison et la limite de propriété est définie par les bornes côté jeu de barres HTB du sectionneur de la cellule de la liaison HTB de raccordement du groupe de production sur le poste d'évacuation ;
 - des dispositions constructives (clôture, cloisons, clés distinctes, peintures au sol différenciées, ou à défaut un bâtiment séparé) sont à mettre en œuvre pour identifier les parties d'ouvrages propriété du gestionnaire de réseau ;
- dans certaines configurations :
 - une double liaison directe à un poste HTB qui n'est pas un poste d'évacuation d'une centrale de production ;
 - la totalité du poste d'évacuation appartient alors au producteur et est exploité par ce dernier ;
 - le point de livraison et la limite de propriété sont matérialisés par les têtes de câbles ou les chaînes d'ancrage du poste d'évacuation.

Dès la présence d'au moins deux groupes de production au sein d'une installation, la structure du poste d'évacuation doit permettre une répartition de la production des différents groupes de production et des liaisons HTB par aiguillage sur deux jeux de barres, ou tronçons de barres distincts.

Une structure à deux jeux de barres est requise pour les postes d'évacuation comportant plus de trois liaisons HTB et dont les jeux de barres participent à la répartition générale des flux sur le réseau HTB. La répartition des liaisons HTB et des groupes de production est assurée par aiguillage sur les jeux de barres distincts.

La mise en continuité et la séparation des jeux de barres ou tronçons de barres sont assurées par disjoncteur équipé de protections. L'aiguillage et la manœuvre de ces disjoncteurs sont de la responsabilité du gestionnaire du réseau HTB.

2.6. CONVENTIONS DE RACCORDEMENT ET D'EXPLOITATION

Référence : article 10 de l'arrêté du 9 juin 2020

« L'acceptation par le producteur de la proposition de raccordement élaborée par le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité donne lieu à l'établissement d'une convention de raccordement et d'une convention d'exploitation. Dans le cadre de ces conventions, le producteur atteste de l'exactitude des informations qu'il a fournies au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité pour l'étude du raccordement et atteste la conformité de l'installation de production réalisée avec les informations précitées ainsi qu'avec les prescriptions du présent arrêté, du règlement UE no 2016/631 le cas échéant, y compris dans leurs déclinaisons telles que contenues dans la documentation technique de référence de ce gestionnaire, et les prescriptions obligatoires découlant d'autres réglementations que le titre IV du livre III de la partie réglementaire du code de l'énergie. »

3. FONCTIONNALITES ET PERFORMANCES DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION

3.1. COURANTS DE COURT-CIRCUIT

3.1.1. Mise à la terre du neutre HTB

Référence : article 69 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Afin de préserver la sécurité des personnes et des biens, toute installation de production comprend un dispositif de fixation du potentiel du neutre HTB par rapport à la terre. L'impédance homopolaire à respecter au point de raccordement de l'installation de production ou, à défaut, la valeur du courant homopolaire en ce point est prescrite par le gestionnaire du réseau à l'issue de l'étude de raccordement. »

A priori, sauf indication contraire de la part du gestionnaire de réseau à l'issue de l'étude de raccordement, la mise à la terre du neutre HTB est réalisée au moyen d'une réactance de point de neutre (RPN) :

- de 50 Ohms sur les réseaux HTB de tension nominale 63 kV,
- de 38 Ohms sur les réseaux HTB de tension nominale 90 kV.

3.1.2. Système de protection contre les courants de court-circuit

Référence : article 13 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Toute installation de production doit être équipée d'un système de protection qui élimine tout défaut d'isolement au sein de l'installation susceptible de créer une surintensité ou une dégradation de la qualité de l'électricité sur le réseau public de transport d'électricité.

Ce système doit aussi permettre d'éliminer tout apport de courant de court-circuit émanant de l'installation lors de l'occurrence d'un défaut d'isolement sur la liaison de raccordement et sur le jeu de barres du réseau public de transport d'électricité auquel elle est raccordée ainsi que tout apport de courant de court-circuit émanant de l'installation suite à des défauts d'isolement situés sur d'autres liaisons raccordées au poste de raccordement au réseau public de transport d'électricité.

Les caractéristiques fonctionnelles de ce système et ses performances respectent les prescriptions définies par le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité et communiquées au producteur à l'issue de l'étude de raccordement. Ces prescriptions concernent en particulier les performances du système de protection, son réglage coordonné avec le système de protection du réseau public de transport d'électricité et l'archivage des informations concernant le fonctionnement des protections. »

Si en cours de vie de l'installation, il s'avère nécessaire de modifier le système de protection de l'installation pour l'adapter à des évolutions de l'installation ou à de nécessaires évolutions du plan de protection du réseau HTB, de telles modifications et leurs échéances doivent être définies dans le cadre d'une concertation entre le gestionnaire du réseau et le producteur.

3.2. CAPACITES CONSTRUCTIVES EN PUISSANCE REACTIVE ET EN REGULATION DE TENSION

3.2.1. Capacités constructives en puissance réactive

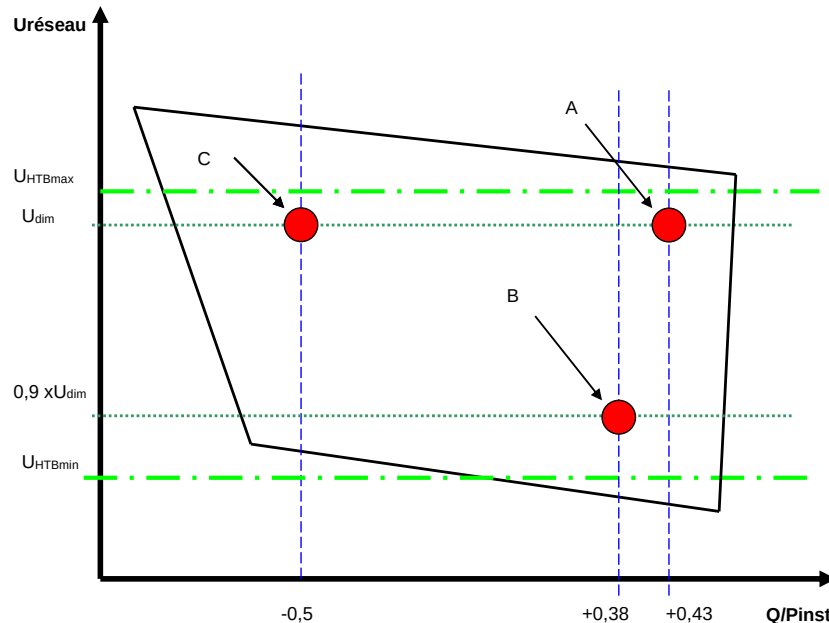
Référence : article 70 de l'arrêté du 9 juin 2020

Pour l'application des dispositions du présent paragraphe, la fréquence sur le réseau HTB est réputée à l'intérieur de sa plage de variation normale telle que définie au §1.3.2. En outre, U_{dim} désigne la valeur de la tension de dimensionnement qui est déterminée comme indiqué au §2.4 et U la valeur de la tension au point de livraison.

3.2.1.1. Cas général.

« Quelle que soit la puissance active fournie, l'installation de production doit être capable de fonctionner dans les conditions suivantes :

- Lorsque U est égale à U_{dim} , la puissance réactive de l'installation doit pouvoir prendre toute valeur comprise dans l'intervalle $[-0,50 \times P_{installée}, +0,43 \times P_{installée}]$;
- Lorsque U est égale à $0,9 \times U_{dim}$, l'installation doit pouvoir fournir une puissance réactive égale à $0,38 \times P_{installée}$; »
- L'installation de production doit posséder un diagramme de fonctionnement dans le plan U, Q (à $P_{installée}$) convexe qui inclut les points de fonctionnement définis au 1° a) et au 1° b). Le domaine normal de fonctionnement de l'installation de production à $P_{installée}$ est la partie du diagramme de fonctionnement dans le plan U, Q limitée à la plage normale de variation de la tension telle que définie au §1.3.1.



Lorsque l'installation comporte plusieurs groupes de production et qu'ils ne sont pas tous démarrés, les valeurs de Q_A , Q_B et Q_C sont réduites dans le rapport entre la puissance maximale des groupes démarrés et la puissance $P_{installée}$.

Lorsque la puissance active de l'installation est dépendante de la température de la source froide, le producteur doit vérifier que son installation respecte les prescriptions du présent paragraphe pour les températures maximale, minimale et nominale de la source froide.

L'ensemble de ces capacités constructives doivent être réalisées pour une seule et même prise du transformateur de groupe (cf. §3.2.2), à savoir la prise 0.

3.2.1.2. Cas particulier

« Lorsque les besoins du réseau l'exigent dans les cas spécifiés par son gestionnaire au vu de l'étude de raccordement, ce dernier peut demander un décalage de la plage de réactif fournie par l'installation de production. Les prescriptions du [§3.2.1.1] sont modifiées par un accord entre le gestionnaire du réseau et le producteur dans les limites suivantes :

- L'intervalle visé au [§3.2.2 a)] est remplacé par l'intervalle $[d - 0,5 \times P_{installée}, d + 0,43 \times P_{installée}]$, où « d » est un décalage de la puissance réactive exprimé en pourcentage de P_{max} qui prend une valeur définie par le gestionnaire du réseau au vu des résultats de l'étude de raccordement et pouvant être fixée entre 0 et $+0,05 \times P_{installée}$;
- La valeur « $0,38 \times P_{max}$ » visée au [§3.2.2 b)] est remplacée par la valeur : « $d + 0,38 P_{installée}$ » ;
- Le diagramme $[U, Q]$ visés au [§3.2.2 c)] est décalé de la valeur d , sa forme restant inchangée. »

3.2.2. Capacités constructives du transformateur de groupe

Référence : article 71 de l'arrêté du 9 juin 2020

Pour pouvoir s'adapter aux évolutions du réseau HTB, le transformateur de groupe doit, par construction, disposer de cinq prises permettant de choisir entre 5 valeurs différentes de rapport de transformation.

A priori, et sauf indication contraire indiquée dans la convention de raccordement, ces valeurs sont les suivantes : +5% $((U_{HTBnTransfo}+5\%) / U_{HTAnTransfo})$, +2,5% $((U_{HTBnTransfo}+2,5\%) / U_{HTAnTransfo})$, 0 $(U_{HTBnTransfo} / U_{HTAnTransfo})$, -2,5% $((U_{HTBnTransfo}-2,5\%) / U_{HTAnTransfo})$, -5% $((U_{HTBnTransfo}-5\%) / U_{HTAnTransfo})$.

Sauf contraintes constructives particulières justifiées de la part du producteur, la prise 0 est la prise utilisée dans les premiers temps de la durée de vie de l'installation, et permettant de satisfaire les exigences du §3.2.1.

Les modalités selon lesquelles il est permuté d'une prise à une autre, à la demande du gestionnaire du réseau, sont précisées dans la convention d'exploitation.

3.2.3. Capacités constructives en régulation de tension

Référence : article 72 de l'arrêté du 9 juin 2020

Tout groupe de production doit être doté d'une fonction de régulation de la tension (régulation primaire de tension) permettant d'asservir automatiquement la production ou la consommation de puissance réactive à la tension du groupe.

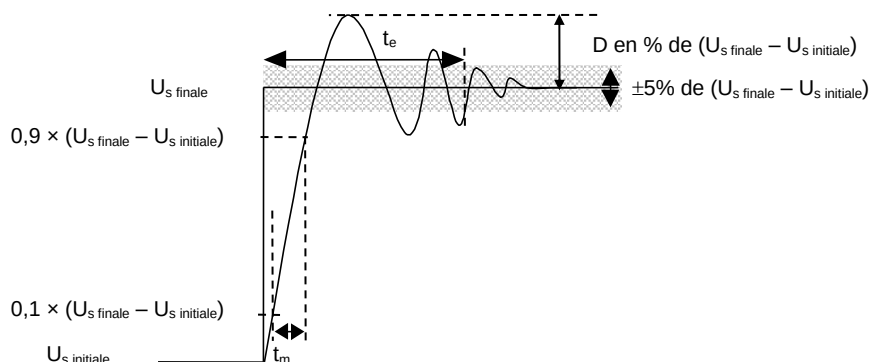
En complément de la régulation primaire de tension, l'installation de production doit pouvoir participer au réglage secondaire de tension par modification manuelle de la tension de consigne de la régulation primaire de tension, sur demande du gestionnaire de réseau. Les conditions et modalités de modification de la tension de consigne sont décrites dans la convention d'exploitation.

Les caractéristiques de la régulation primaire de tension et du réglage secondaire de tension décrits ci-dessus doivent permettre le fonctionnement de l'installation dans les limites définies au §3.2.1.

Un régulateur primaire de tension fonctionnant en asservissement de la puissance réactive à une valeur de consigne de puissance réactive est proscrit.

Les performances dynamiques de la régulation primaire de tension sont les suivantes, sur échelon de 2% de la tension de consigne :

- Le temps d'établissement, t_e , à $\pm 5\%$ de $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$, doit être inférieur à 10 s ;
- Le temps de montée, t_m , entre 10 % et 90 % de $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$ doit être inférieur à 2 s ;
- Le dépassement, D , différence entre la valeur maximale de U_s et $U_s \text{ finale}$, rapportée à $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$, doit être inférieur à 10 % ;
- L'écart statique, ε' %, entre la grandeur asservie injectée dans le régulateur de tension et la consigne du régulateur de tension : $\varepsilon' \% = 100 \frac{U_s \text{ finale} - U_s \text{ consigne}}{U_s \text{ consigne}}$, doit être inférieur à 0,2 % ;
- Le temps d'amortissement de la puissance active au point de livraison à $\pm 1\%$ de sa valeur finale, doit être inférieur à 10 s.



Afin de permettre la vérification sur site du respect de cette exigence, le régulateur de tension devra disposer d'une entrée analogique externe. Cette entrée devra figurée sur les schémas et modèles de régulation demandés dans le cadre des échanges entre le producteur et le gestionnaire du système.

3.2.4. Capacité constructive à participer au réglage RESCU-F

Le réglage RESCU-F permet d'exploiter la sensibilité des charges à leur tension d'alimentation pour apporter un soutien dynamique à la fréquence en cas de perte de production. Un automate installé par le gestionnaire du réseau dans le poste d'évacuation mesure l'évolution du gradient de fréquence et lorsque ce dernier dépasse un seuil préalablement déterminé, une baisse de la tension de consigne stator est envoyée en entrée de la régulation de tension du groupe de production.

La régulation de tension devra disposer d'une entrée externe permettant d'interpréter l'ordre RESCU-F (de type 4 -20 mA) correspondant à un échelon de – 5 % maximum de la tension de consigne, ordre maintenu durant plusieurs secondes puis revenant linéairement à 0.0 avec le rétablissement de la fréquence. Sur l'échelon initial, le temps de baisse, t_m , entre - 10 % et - 90 % de (U_s initiale - U_s finale) doit être inférieur à 2 s.

3.3. CAPACITES CONSTRUCTIVES EN REGLAGE DE FREQUENCE

Pour l'application des dispositions du présent paragraphe, la tension sur le réseau HTB est réputée à l'intérieur de sa plage de variation normale telle que définie au §2.4, et la fréquence à l'intérieur de ses plages de variation normale et exceptionnelle.

3.3.1. Réserve primaire et régulation primaire de fréquence

Référence : article 88 de l'arrêté du 9 juin 2020

Toute installation de production doit disposer d'une capacité constructive de réglage primaire :

- En cas de fréquence inférieure à 50 Hz, l'installation, à partir de n'importe quel point de fonctionnement compris entre $P_{stable\ min}$ (puissance minimale à laquelle l'installation de production peut fonctionner de manière stable mais non permanente en raison par exemple de contraintes sur les débits maximaux d'émission de certains polluants atmosphériques ; $P_{stable\ min}$ doit par exemple permettre un fonctionnement îloté de l'installation) et $P_{installée}$, doit avoir la capacité d'augmenter sa puissance mécanique jusqu'à au moins 10% de $P_{installée}$, dans la limite de $P_{installé}$. Cette réserve de puissance est appelée « réserve primaire, R_p ». Elle doit pouvoir être produite pendant au moins 15 minutes.
- En cas de fréquence supérieure à 50 Hz, l'installation, à partir de n'importe quel point de fonctionnement compris entre $P_{stable\ min}$ et $P_{installée}$, doit avoir la capacité de réduire sa puissance jusqu'à $P_{stable\ min}$.

Si l'installation comporte plusieurs groupes, et dans quelque configuration de production possible que ce soit, l'installation doit avoir une capacité de régulation primaire avec une réserve d'au moins 10% de la somme des $P_{installée}$ des groupes démarrés. Sauf contrainte particulière dûment justifiée par le producteur et acceptée par le gestionnaire de réseau, chaque groupe constituant l'installation doit disposer en propre d'une capacité de régulation primaire avec réserve d'au moins 10% de sa $P_{installée}$.

Tout groupe de production devant avoir une capacité de régulation primaire de fréquence doit être équipé d'un régulateur primaire de la fréquence qui doit automatiquement piloter l'évolution de la production de puissance active en fonction de la variation de la fréquence du réseau par rapport à la fréquence nominale f_0 de 50 Hz, selon la loi de réglage statique suivante :

$$P = P_0 - K \times \Delta f$$

avec P , la puissance active en régime permanent stabilisé produite par l'installation ;
 P_0 , la consigne de puissance à f_0 ;
 K , le gain en MW/Hz de la régulation de fréquence, appelé aussi « Énergie réglante » ;
 $\Delta f = f - f_0$, l'écart de fréquence par rapport à f_0 .

A partir de l'énergie réglante, K , on définit le statisme, ∂ de la régulation comme suit :

$$\partial = \frac{1}{K} \times \frac{P_{installée}}{f_0}$$

L'énergie réglante, K , et donc le statisme ∂ , doit être réglable et sa valeur est déterminée par le gestionnaire de réseau. A priori, et sauf indication contraire dans la convention de raccordement, ∂ doit être réglable entre 3% et 10%. Les modalités de modification de la valeur du statisme ∂ à l'intérieur de sa plage de réglage sont précisées dans la convention d'exploitation.

La régulation primaire peut fonctionner selon deux modes, qui sont ne sont pas équivalents vus du Système :

- Asservissement à la puissance électrique, appelé « régulation de puissance » ;
- Asservissement d'ouverture.

Aussi et lorsque la technologie du moyen de production le permet, l'asservissement à l'ouverture devra être systématiquement privilégié.

La dynamique globale de l'évolution de la puissance mécanique de l'installation sur action de la régulation primaire de fréquence doit être la suivante¹ :

¹ Sur demande dûment justifiée du producteur et après accord du gestionnaire du système, les exigences en termes de temps de réponse peuvent être adaptées aux capacités constructives de l'installation. L'éventuelle demande d'adaptation devra être portée à la connaissance du gestionnaire lors de la demande de Proposition Technique et Financière en vue du raccordement de l'installation.

- Pour tout point de fonctionnement initial en régime établi $P_{\text{initial}} = P_0$ à la fréquence $f = f_0$ compris entre $P_{\text{stable min}}$ et $P_{\text{installée}}$, et pour une rampe de fréquence de -1 Hz/s jusqu'à 48 Hz, le temps d'établissement TRP2 de la puissance mécanique à $\pm 5\%$ de $(P_{\text{final}} - P_{\text{initial}})$ doit être inférieur à 1,25 s, avec $P_{\text{final}} = P_{\text{initial}} + \min(P_{\text{installée}} - P_{\text{initial}}; R_p; -K \times \Delta f)$.
- Pour tout point de fonctionnement initial en régime établi $P_{\text{initial}} = P_0$ à la fréquence $f = f_0$ compris entre $P_{\text{stable min}}$ et $P_{\text{installée}}$, et pour tout échelon $\Delta f \leq -R_p/K$, le temps d'établissement TRP1 de la puissance mécanique à $\pm 5\%$ de $P_{\text{final}} - P_{\text{initial}}$ doit être inférieur à 8 s, avec $P_{\text{final}} = P_{\text{initial}} + \min(P_{\text{installée}} - P_{\text{initial}}; R_p; -K \times \Delta f)$.
- Pour tout point de fonctionnement initial en régime établi $P = P_0$ à la fréquence $f = f_0$ compris entre $P_{\text{stable min}}$ et $P_{\text{installée}}$, et pour une rampe de fréquence de -4 Hz/s jusqu'à 46 Hz, le temps d'établissement TRP3 de la puissance mécanique à $\pm 5\%$ de $P_{\text{final}} - P_{\text{initial}}$ doit être inférieur à 1 s, avec $P_{\text{final}} = P_{\text{initial}} + \min(P_{\text{installée}} - P_{\text{initial}}; R_p; -K \times \Delta f)$.
- Pour tout point de fonctionnement initial en régime établi $P = P_0$ à la fréquence $f = f_0$ compris entre $P_{\text{stable min}}$ et $P_{\text{installée}}$, et pour tout échelon $\Delta f > 0$ Hz, le temps d'établissement TRP1 de la puissance mécanique à $\pm 5\%$ de $(P_{\text{final}} - P_{\text{initial}})$ doit être inférieur à 8 s, avec $P_{\text{final}} = P_{\text{initial}} - \min(P_{\text{initial}} - P_{\text{stable min}}; K \times \Delta f)$.
- Au cours des phases transitoires, la puissance mécanique doit pouvoir prendre toute valeur comprise entre $P_{\text{installée}}$ et 0 MW.

Aucune bande-morte sur la mesure de la fréquence n'est tolérée. L'insensibilité maximale de la mesure de la fréquence doit être plus égale à 15 mHz. L'énergie réglante K doit être disponible pour toute valeur de fréquence sortant de la bande d'insensibilité.

La régulation fréquence - puissance devra embarquer d'une fonction anti windup² afin d'assurer le respect des exigences dynamiques ci-dessus en cas d'inversion brusque du sens d'évolution de la fréquence du réseau.

Afin de permettre la vérification de cette exigence, le régulateur de vitesse devra disposer d'une entrée analogique externe. Cette entrée devra figurée sur les schémas et modèles de régulation demandés dans le cadre des échanges entre le producteur et le gestionnaire du système.

3.3.2. Réserve primaire « lente »

En cas de baisse de fréquence (respectivement hausse de fréquence) ayant conduit à la fourniture en totalité de la réserve primaire R_p , l'installation doit être capable de continuer à accroître (respectivement baisser) sa puissance mécanique jusqu'à $P_{\text{installée}}$ (respectivement $P_{\text{stable min}}$) avec une vitesse d'accroissement (respectivement de baisse) de la puissance au moins égale à 10% de $P_{\text{installée}}$ /min.

3.3.3. Réglage secondaire de fréquence

Référence : article 73 de l'arrêté du 9 juin 2020

L'action du réglage primaire laisse subsister un écart de fréquence par rapport à la fréquence de consigne f_0 . Elle provoque également des écarts sur les échanges sur les lignes d'interconnexion synchrones (cas du système Corse Sardaigne).

Le réglage secondaire a donc pour but :

- de restaurer l'intégralité de la réserve primaire engagée par les groupes participant à ce réglage pour pallier tout nouveau déséquilibre production - consommation.
- et dans le cas du système Corse Sardaigne de retrouver le programme d'échange initialement contractualisé sur la liaison synchrone.

L'installation de production doit pouvoir, en complément de la régulation primaire de la fréquence, participer au réglage secondaire fréquence – puissance active :

Ce réglage secondaire est réalisé par un organe centralisé situé au centre de conduite du système, avec pour rôle de modifier automatiquement le programme de production des entités réglantes, jusqu'à annuler l'écart de réglage.

L'erreur de réglage est calculée comme suit :

$$\Delta E = \lambda \Delta f + \Delta P_i$$

Avec :

- Δf [Hz] : Ecart de fréquence par rapport à la consigne,
- ΔP_i : Ecart entre le bilan des puissances mesurées et contractualisés sur les lignes de liaison du système avec un système électrique voisin.
- λ [MW/Hz] : Energie réglante secondaire dans le système,
- ΔE [MW] : Erreur de réglage.

² Cette fonction permet de limiter « l'emballement » de l'intégrateur du régulateur de vitesse tout particulièrement lorsque la variation de fréquence conduit le groupe de production au limiteur.

Pour dimensionner de manière précise l'erreur de réglage en MW, l'énergie réglante secondaire (λ) doit être prise égale à la somme des énergies réglantes des groupes en réglage primaire et de l'autorégulation de la charge. L'erreur de réglage est ensuite utilisée pour déterminer l'effort total de réglage (R) au dispatching du système insulaire. Pour cela, il est nécessaire de connaître l'énergie réglante primaire des groupes en réglage primaire ainsi que la valeur de la fréquence en temps réel.

$$R = -K_i \times \int \Delta E - K_p \times \Delta E$$

Avec :

- K_i : Gain de réglage intégral,
- K_p : Gain de réglage proportionnel,
- R [adimensionnel] : Effort total de réglage

A partir de n'importe quel point de fonctionnement initial en régime établi compris entre $P_{\min}$ (puissance minimale à laquelle l'installation de production peut fonctionner de manière permanente sans limitation de durée) et $P_{\text{installée}}$, l'installation de production doit être capable, de recevoir et traiter automatiquement une consigne de modification de son point de fonctionnement à 50 Hz, P_0 , afin de pouvoir atteindre tout point de fonctionnement compris entre $P_{\text{installée}}$ et $P_{\min}$, et avec une vitesse de variation (Vitesse Réglage Secondaire VRS) au moins égale en valeur absolue à 10% de $P_{\text{installée}}$ /minute. La période minimale de rafraîchissement de la valeur de consigne est de 1 seconde.

3.4. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS DE TENSION

Référence : Article 74 de l'arrêté du 9 juin 2020

« 1. – Pour l'application des dispositions du présent article, la fréquence sur le réseau est réputée dans sa plage de variation normale [telle que définie au §1.3.2]. Pour toute valeur de la tension au point de raccordement (U) inscrite dans l'une des plages de variation exceptionnelle fixées [au §1.3.1], l'installation de production doit fonctionner pour des durées limitées dans les conditions définies ci-après :

1. Fonctionnement pendant au moins 5 minutes lorsque U est [dans la plage exceptionnelle haute, y compris en limite supérieure de celle-ci]. Au cours d'un tel fonctionnement, la puissance active pouvant être fournie par l'installation de production peut être réduite à $0,95 \times P_{\text{installée}}$. En outre, l'installation doit pouvoir moduler la puissance réactive dans les limites du domaine de fonctionnement minimal [U,Q défini au §3.2.1] ;
2. Fonctionnement pendant au moins 90 minutes lorsque U [dans la plage exceptionnelle basse mais supérieure ou égale à] $0,85 \times U_n$. En outre, quelle que soit la puissance active fournie, l'installation de production doit pouvoir fournir une puissance réactive [dans les limites de son diagramme de fonctionnement dans le plan U,Q tel que défini au §3.2.1, mais aussi hors de ce diagramme de fonctionnement, lorsque le groupe est en limitation de fourniture de puissance réactive (par exemple en limitation de courant rotor ou stator) et à des tensions de groupe inférieures à la limite basse de la plage normale de tension de groupe. Le fonctionnement hors du diagramme de fonctionnement dans le plan U,Q peut être obtenu en réduisant sa production de puissance active compte-tenu de ses capacités constructives.] ;
3. Fonctionnement lorsque U est comprise entre $0,85 \times U_n$ et [la limite inférieure de la plage exceptionnelle basse, et dans des conditions de fourniture maximale de puissance réactive et de production de puissance active.] dans les conditions consignées dans la convention d'exploitation dans le respect des prescriptions de la documentation technique de référence du gestionnaire du réseau. »

Référence : Article 80 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Le fonctionnement de ces protections ne doit pas conduire au découplage de cette installation par rapport au réseau sur le seul critère de tension basse tant que la tension au point de raccordement ne devient pas inférieure à $0,7 \times U_n$ pendant 2,5 secondes. »

3.5. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS DE FREQUENCE

Référence : Article 87 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Pour l'application des dispositions du présent [paragraphe], la tension au point de raccordement est réputée comprise à l'intérieur de la plage normale de variation [telle que définie au §1.3.1]. Toute installation de production raccordée en HTB1 doit rester en fonctionnement lorsque la fréquence du réseau prend des valeurs exceptionnelles, dans les conditions de durée et de perte maximale de puissance fixées dans les tableaux ci-après : »

PLAGE DE FRÉQUENCE	DURÉE MINIMALE de fonctionnement	PERTE DE PUISSANCE (pourcentage)
Entre 48 Hz et 47 Hz	3 minutes	au maximum 10 %
Entre 47 Hz et 46 Hz	60 secondes	au maximum 15 %
Entre 46 Hz et 44 Hz	0,4 secondes	au maximum 20 %
Entre 52 Hz et 54 Hz	5 secondes	Voir ci-dessous

Régimes exceptionnels de fréquence pour les systèmes Corse, Guadeloupe, Martinique et Réunion

PLAGE DE FRÉQUENCE	DURÉE MINIMALE de fonctionnement	PERTE DE PUISSANCE (pourcentage)
Entre 48 Hz et 46 Hz	3 minutes	au maximum 10 %
Entre 46 Hz et 44 Hz	60 secondes	au maximum 15 %
sous 44 Hz	0,4 secondes	au maximum 20 %
Entre 52 Hz et 55 Hz	5 secondes	Voir ci-dessous

Régimes exceptionnels de fréquence pour le système Guyane

Tout groupe de production doit être doté d'un dispositif permettant de réduire sa puissance lorsque la fréquence dépasse un seuil réglable entre 51 Hz et 52 Hz et déterminé par le gestionnaire de réseau :

- Lorsque le groupe de production dispose de capacités de réglage primaire de fréquence telles que définies au §3.3, le groupe est réputé satisfaire cette exigence à l'aide de sa régulation de fréquence.
- Lorsque le groupe de production ne dispose pas de capacités de réglage primaire de fréquence telles que définies au §3.3 :
 - Le groupe doit alors être équipé d'un dispositif spécifique lui permettant de réduire sa puissance de 50 % de $P_{installée}$ par hertz d'écart de fréquence à partir de ce seuil.
 - La dynamique de réponse de ce dispositif doit être telle que pour un échelon positif de fréquence $\Delta f = f - f_0$ de +200 mHz à partir de 50 Hz, l'installation doit être capable de réduire sa puissance de la valeur de $K \times \Delta f$ (avec $K = 50 \%$ de $P_{installée}/Hz$) en moins de 8 s.
 - La désactivation de l'action de réduction de puissance intervient lorsque la fréquence redevient inférieure à 51 Hz.

« III. – Le découplage de l'installation par rapport au réseau HTB sur fonctionnement d'une protection sur critère de fréquence haute ne doit pas intervenir tant que la fréquence n'est pas supérieure à un seuil réglable entre 52,5 Hz et 53,5 Hz (54,5 Hz pour la Guyane) et déterminé par le gestionnaire de réseau, pendant au moins 5 s.

IV. – Le découplage de l'installation par rapport au réseau HTB sur fonctionnement d'une protection sur critère de fréquence basse ne doit pas intervenir tant que la fréquence n'est pas inférieure à un seuil réglable entre 46 Hz et 44 Hz, pendant au moins 0,4 s. Un seuil intermédiaire de 47 Hz pourra être introduit, mais le découplage de l'installation ne pourra intervenir que si la fréquence reste sous ce seuil pendant au moins 60 s.

V. – Les installations de production doivent être en capacité de maintenir leur niveau de puissance active et réactive lors de variations de fréquence pouvant atteindre en valeur absolue 15 Hz/s. »

3.6. TENUE AUX REGIMES EXCEPTIONNELS EN TENSION ET EN FREQUENCE

Référence : Article 75 de l'arrêté du 9 juin 2020

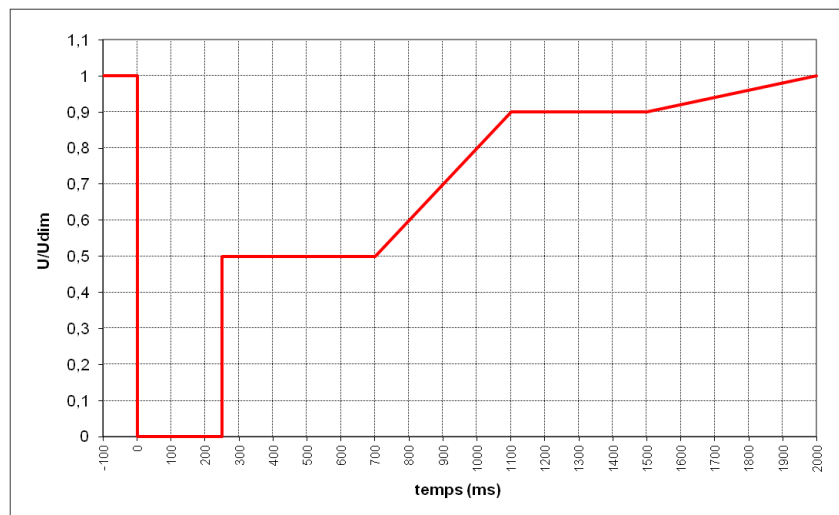
« En cas de simultanéité des valeurs exceptionnelles de la fréquence sur le réseau [HTB] et de la tension au point de raccordement de l'installation de production, la réduction admissible de la puissance active de l'installation de production est la plus grande de celles admises pour ces deux situations selon les [§3.4 et §3.5]. La durée de fonctionnement requise est la plus courte des deux.

Toutefois, en cas de situation de tension exceptionnelle haute, l'installation de production n'est soumise aux dispositions de l'alinéa précédent [tant que] le rapport $(U/U_n)/(F/F_n)$ reste inférieur à 1,13, où « U » désigne la tension constatée au point de raccordement, « U_n » la tension nominale HTB 1 dont la valeur est précisée à l'article 67 du présent arrêté, « F » la fréquence constatée sur le réseau et « F_n » la fréquence nominale du réseau, c'est-à-dire 50 Hz. Lorsque la valeur de 1,13 est atteinte ou dépassée, la durée de fonctionnement est limitée au délai de l'action du système de protection associé si l'installation ou l'unité en est équipée. »

3.7. TENUE AUX CREUX DE TENSION

Référence : Article 89 de l'arrêté du 9 juin 2020

Pour l'application des dispositions du présent article, la fréquence sur le réseau HTB est réputée à l'intérieur de sa plage de variation normale telle que définie au §1.3.2. Toute installation de production doit rester couplée au réseau, sauf éventuellement en cas de rupture de synchronisme dans les conditions définies au §3.8, lors de l'apparition au point de livraison d'un creux de tension s'inscrivant dans le gabarit défini dans le graphique ci-après :



3.8. STABILITE, RUPTURE DE SYNCHRONISME

Toute installation de production doit rester en fonctionnement stable lors d'événements normaux survenant sur l'installation ou le réseau (par exemple : changement de consigne de tension de la régulation de tension du groupe de production, changement de schéma d'exploitation du réseau HTB, un court-circuit normalement éliminé sur le réseau HTB).

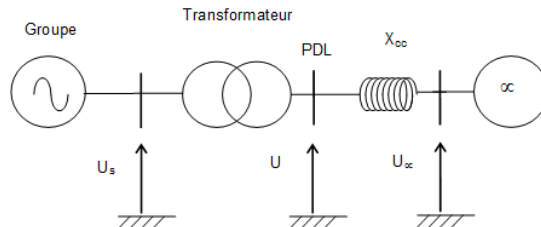
Les capacités de l'installation à fonctionner de façon stable face à ces événements doivent être démontrées par le producteur au moyen d'études par simulations numériques dont les résultats sont communiqués au gestionnaire de réseau, et doivent être validées par ce dernier. Ces études sont des études génériques effectuées à l'aide de schémas de réseau simplifiés standards où le groupe de production est mis en antenne sur un réseau de tension et fréquence constantes (réseau dit « infini ») au travers de son transformateur et de réactances de liaison. Les valeurs des réactances sont déterminées en fonction de la Puissance de Court-Circuit maximale (valeur a) et minimale (valeur b) au point de raccordement de l'installation et sont fournies par le gestionnaire dans la convention de raccordement.

Si l'installation présente plusieurs groupes de production, les configurations de l'installation à simuler seront fournies par le gestionnaire de réseau dans la convention de raccordement. Pour la suite du présent document, seule la configuration avec un seul groupe de production couplé est présentée.

N.B : pour les simulations § 3.8.1 à § 3.8.3, les auxiliaires du groupe ne sont pas représentés, et le groupe délivre sa puissance brute maximale ($P_{brute\ max}$), la puissance réactive, Q, est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U, est la tension au point de livraison.

3.8.1. Stabilité en petits mouvements

L'étude de stabilité en petits mouvements est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où le groupe de production est mis en antenne sur un réseau « infini » au travers d'une réactance de liaison X_{cc} . L'étude est réalisée pour les deux valeurs extrêmes de réactance de liaison, $X_{cc} = \ll a \gg$ et $X_{cc} = \ll b \gg$.



3.8.1.1. Évaluation de la robustesse

Calcul des marges de stabilité (marge de module, marge de module complémentaire, marge de retard, cf. annexe 3 du présent document) pour le point de fonctionnement $P = P_{brute\ max}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$ ainsi que pour les trois points de fonctionnement suivants :

- A : $P = P_{brute\ max}$, $Q = 0,43 \times P_{brute\ max}$ et $U = U_{dim}$
- B : $P = P_{brute\ max}$, $Q = 0,38 \times P_{brute\ max}$ et $U = 0,9 \times U_{dim}$
- C : $P = P_{brute\ max}$, $Q = -0,5 \times P_{brute\ max}$ et $U = U_{dim}$

La valeur de la tension du réseau infini U_{∞} doit rester dans les limites du régime exceptionnel. Au besoin, la puissance réactive du groupe peut être modifiée pour respecter cette contrainte.

La régulation d'excitation du groupe de production doit présenter pour l'ensemble des points de fonctionnement demandés :

- Une marge de module supérieure ou égale à 0,34
- Une marge de module complémentaire supérieure à 0,33
- Une marge de retard supérieure à 34 ms

La méthode de calcul des différentes marges indiquées ci-dessus est spécifiée en annexe 3 du présent document.

Le modèle doit représenter toutes les dynamiques (constantes de temps, retards purs) supérieures ou égales à 10 ms.

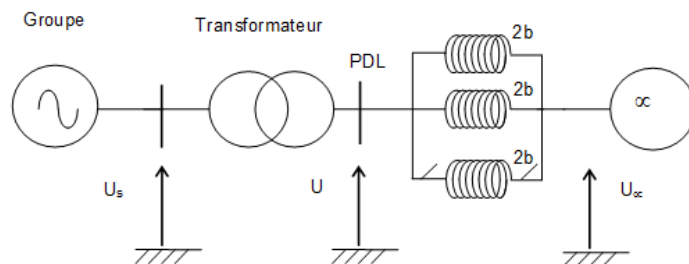
3.8.1.2. Échelon de consigne du réglage primaire de tension

Échelon de +2 % sur la consigne du réglage primaire de tension du groupe initialement à $P = P_{brute\ max}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$. La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Le groupe de production doit rester stable (pas de perte de synchronisme et/ou pas de déclenchement sur une protection de l'installation). Les performances dynamiques de la régulation primaire de tension attendues sont précisées au § 3.2.3 Capacités constructives en régulation de tension.

3.8.2. Stabilité sur report de charge

L'étude de stabilité sur report de charge est réalisée à l'aide d'un schéma simplifié du réseau où l'installation le groupe de production est mis en antenne sur un réseau « infini » au travers de 3 lignes de réactance « $2b$ » en parallèle.



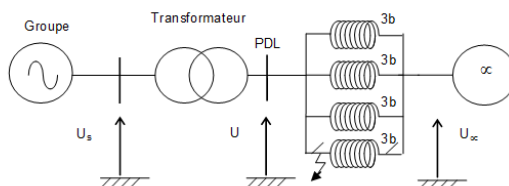
Ouverture d'une ligne avec le groupe de production initialement à $P = P_{brute\ max}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$. La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Le groupe de production doit rester stable (pas de perte de synchronisme et/ou pas de déclenchement sur une protection de l'installation).

Le temps d'amortissement de la puissance électrique au point de livraison à ± 5 % de sa valeur finale doit être inférieur à 10 s.

3.8.3. Stabilité sur court-circuit

L'étude de stabilité sur court-circuit est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où le groupe de production est mis en antenne sur un réseau « infini » au travers de 4 lignes de réactance $3b$ en parallèle.



Défaut triphasé situé sur une des lignes de liaison à une distance du PDL égale à 1 % de la longueur totale de la ligne, éliminé en 150 ms par l'ouverture des disjoncteurs, avec le groupe de production initialement à $P = P_{\text{brute max}}$, $Q = 0$ et $U = U_{\text{dim}}$. La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Le groupe de production doit rester stable (pas de perte de synchronisme et/ou pas de déclenchement sur une protection de l'installation).

Le temps d'amortissement de la puissance électrique au point de livraison à ± 5 % de sa valeur finale doit être inférieur à 10 s.

En complément, le producteur calcule le temps limite d'élimination des défauts au-delà duquel le court-circuit entraîne la perte de stabilité (précision de 5 ms).

3.8.4. Comportement en cas de rupture de synchronisme

Tout groupe de production synchrone doit être conçu de telle sorte qu'en cas de rupture de synchronisme avec le réseau HTB elle puisse supporter sans dommage un tour d'angle interne et/ou douze inversions de puissance. Si l'installation est équipée d'une protection détectant les pertes de synchronisme, son réglage est réalisé en concertation avec le gestionnaire du réseau.

3.9. PERTURBATIONS DE LA QUALITE DE L'ONDE DE TENSION

Référence : Article 76 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Les obligations du producteur résultant des dispositions de l'article 5 du décret no 2015-1084 susvisé sont réputées satisfaites, pour ce qui concerne le raccordement de toute installation de production au réseau [HTB], lorsque les perturbations provoquées par celle-ci, mesurées au droit du point de raccordement au réseau, restent dans les limites fixées ci-après.

A-coups de tension : l'amplitude de tout à-coup de tension ne doit pas dépasser 5 % de la tension au point de raccordement.

Papillotement (« flicker ») : les fluctuations de tension engendrées par l'installation de production doivent rester à un niveau tel que le paramètre « Pst », au sens de la norme CEI 61000-4-15, mesuré au point de raccordement, reste inférieur à 1. »

Référence : Article 15 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Déséquilibre : le taux de déséquilibre en tension, entre phases, produit par l'installation de production doit être inférieur à 1.

Harmoniques : les courants harmoniques injectés sur le réseau HTB doivent être inférieurs à :

$$I_n = K_n \frac{S}{\sqrt{3}U_n} \quad \text{où :}$$

S correspond à $P_{\max}$ plafonnée à la valeur de 5 % de la puissance de court-circuit ;

U_n est la valeur de la tension nominale au point de livraison définie selon le tableau de l'article 2 ;

K_n est un coefficient défini en fonction du rang de l'harmonique dans le tableau ci-après :

RANGS IMPAIRS	K_n (%)	RANGS PAIRS	K_n (%)
3	6,5	2	3
5 et 7	8	4	1,5
9	3	> 4	1
11 et 13	5		
> 13	3		

En outre, T_g , le taux global d'harmonique, doit être inférieur à 8%, T_g étant calculé par la formule :

$$T_g = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=40} K_n^2}$$

Les prescriptions du présent paragraphe sont établies sur la base d'une puissance de court-circuit minimale de référence de 400 MVA. Si la puissance de court-circuit effectivement disponible est inférieure à cette référence, les limites des perturbations de tension produites par le producteur sont multipliées par le rapport entre la puissance de court-circuit de référence (400 MVA), et la puissance de court-circuit effectivement disponible. »

3.10. CONDITIONS DE COUPLAGE AU RESEAU

Référence : Article 77 de l'arrêté du 9 juin 2020

« I. – Toute installation de production doit être conçue de telle sorte que son couplage au réseau [HTB] soit possible lorsque, simultanément, la fréquence sur le réseau prend n'importe quelle valeur comprise entre 48 Hz à 52 Hz et la tension au point de raccordement de l'installation prend n'importe quelle valeur [comprise entre U_{HTBmin} et U_{HTBmax}].

II. – Toute installation de production doit être dotée d'un dispositif permettant son couplage synchrone au réseau dans des conditions d'écart dans les caractéristiques des tensions aux bornes de cette installation et au point de raccordement qui ne doivent pas excéder les valeurs ci-après :

- Ecart maximal de fréquence : 0,1 Hz.
- Ecart maximal de tension : 10 % de U_n .
- Ecart maximal de phase : 10°. »

3.11. RECONNEXION SUITE A DECONNEXION FORTUITE

Référence : Article 78 de l'arrêté du 9 juin 2020

« I. – Toute installation de production doit être conçue de telle sorte qu'en cas de déconnexion fortuite du réseau suite à l'apparition d'un phénomène affectant ce réseau elle puisse se reconnecter rapidement au réseau à la demande du gestionnaire du réseau dès que ce phénomène a cessé.

II. – Le délai maximal nécessaire pour le couplage de l'installation dans ces circonstances est consigné dans la convention de raccordement et ne peut dépasser 5 minutes. Toutefois, à titre dérogatoire en cas d'impossibilité technique avérée, un délai au plus égal à dix minutes est admissible pour le couplage de l'installation dans ces circonstances. Ce délai est consigné dans la convention de raccordement.

III. – L'installation doit être capable de rester dans cet état de disponibilité en vue d'une reconnexion rapide à la demande du gestionnaire de réseau pendant au moins 1 heure. »

La perte temporaire de l'information sur la position du disjoncteur de couplage au réseau HTB ne peut à elle seule conduire au découplage de l'installation. Le producteur présentera pour approbation par le gestionnaire sa stratégie de gestion de ce type d'incident.

3.12. PARTICIPATION A LA RECONSTITUTION DU RESEAU

Référence : Article 79 de l'arrêté du 9 juin 2020

« I. – Toute installation de production destinée, sur demande du gestionnaire de réseau, à faire partie du plan de reconstruction du réseau établi par le gestionnaire du réseau doit être conçue de telle sorte que ses performances soient compatibles avec des conditions spéciales d'exploitation, notamment en termes de valeur de la tension au point de raccordement ou de la fréquence sur le réseau HTB, qui peuvent excéder les prescriptions spécifiées dans les articles précédents. Ces conditions spéciales d'exploitation visent à faire participer l'installation de production à la demande du gestionnaire du réseau à la reconstitution du réseau en cas d'incident de grande ampleur.

A cette fin, et sans préjudice des autres prescriptions du présent arrêté, les prescriptions techniques complémentaires suivantes s'appliquent :

- possibilité de couplage et d'injection sur le réseau alors que la valeur de la tension au point de raccordement est égale à zéro ;
- possibilité de fonctionner [en régime îloté ou] à puissance très basse pendant une durée continue d'au moins une heure, cette limite basse de puissance ne devant pas être supérieure à $0,1 \times P_{\text{installée}}$, y compris lorsque l'installation de production alimente une partie isolée du réseau ;
- possibilité de fonctionner sur une partie restreinte et isolée du réseau, en pouvant, pour l'installation de production, équilibrer à elle seule la consommation constatée sur cette partie du réseau par la puissance qu'elle injecte, lorsque la puissance consommée se trouve modifiée par un pas inférieur à $0,2 \times P_{\text{installée}}$. »
- possibilité de démarrer l'installation de production en mode autonome, c'est-à-dire sans aucune source d'alimentation électrique externe. Cette capacité constructive n'est pas systématiquement exigée pour toutes les installations destinées à faire partie du plan de reconstruction du réseau.

Les conditions spéciales d'exploitation mentionnées ci-dessus ainsi que les modalités de leur mise en œuvre sont précisées dans la convention d'exploitation.

3.13. INTERFAÇAGE AVEC LE SYSTEME DE CONDUITE DU GESTIONNAIRE DE RESEAU

Référence : Article 81 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Toute installation de production doit être dotée des équipements dont les fonctionnalités sont précisées ci-dessous dans le but de transmettre au gestionnaire du réseau des informations relatives à l'exploitation de l'installation et de recevoir de la part du gestionnaire de réseau des commandes d'exploitation devant être exécutées par l'installation. Ces équipements comprennent une ou plusieurs interfaces qui sont la propriété du producteur et que ce dernier exploite et entretient. Toutefois, ces interfaces sont soumises à l'accord préalable du gestionnaire du réseau.

Les équipements du producteur doivent au moins permettre de transmettre au gestionnaire du réseau automatiquement les informations suivantes :

- Les résultats de la mesure des puissances active et réactive, de la valeur de la tension au point de livraison ainsi que de la fréquence ;
- Le cas échéant, les valeurs des consignes reçues pour les puissances active et/ou réactive, tension, participation au réglage secondaire de fréquence ;
- L'indication de l'état de l'installation de production au regard de ses capacités et du positionnement de ses organes de séparation du réseau.

Les équipements du producteur doivent au moins permettre de recevoir et traiter automatiquement la demande d'effort de réglage secondaire de fréquence émise par le gestionnaire du réseau.

L'étude de raccordement précise :

- les fonctionnalités détaillées des équipements ainsi que leurs performances ;
- le format des données informatiques dont les équipements précités permettent l'échange avec le gestionnaire du réseau ;
- les spécifications des interfaces de télécommunication que le producteur doit établir ;

- les modalités selon lesquelles le producteur recueille l'accord préalable du gestionnaire du réseau pour les interfaces de ces équipements.

Après la mise en service de l'installation de production, toute modification de ces équipements susceptible de les rendre non conformes aux caractéristiques fonctionnelles et aux performances définies par le gestionnaire du réseau ne peut intervenir qu'avec l'accord de ce dernier qui peut demander au producteur toutes les justifications utiles. »

4. REGLES D'EXPLOITATION

4.1. REGLAGE DES PROTECTIONS DE L'INSTALLATION

Référence : Article 80 de l'arrêté du 9 juin 2020

Le producteur règle les protections de son installation en conformité avec les prescriptions fournies par le gestionnaire du réseau, qui prennent notamment en compte les conditions de fonctionnement des installations de production pendant des phases transitoires de courte durée.

Le producteur fournit au gestionnaire de réseau le schéma des protections de son installation, leur nature et leurs réglages qui doivent être approuvés par le gestionnaire de réseau.

Après la mise en service de l'installation de production, toute modification des protections susceptible de les rendre non conformes aux caractéristiques fonctionnelles et aux performances initiales convenues avec le gestionnaire du réseau ne peut intervenir qu'avec l'accord de ce dernier qui peut demander au producteur toutes les justifications utiles.

4.2. CENTRE DE CONDUITE DE L'INSTALLATION

Référence : Article 82 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Le producteur désigne au gestionnaire du réseau un centre de conduite qui est responsable de la bonne marche de l'installation de production. Ce centre de conduite reçoit les demandes d'action du gestionnaire du réseau qui ne sont pas générées automatiquement par les équipements mentionnés [au §3.13] et les exécute. Lorsqu'il est juridiquement distinct du producteur titulaire de l'autorisation de production, le centre de conduite est réputé placé sous la seule responsabilité de ce producteur.

Le centre de conduite est doté des moyens appropriés. Les personnels dont il dispose, en nombre suffisant, sont compétents et formés pour leur permettre d'exécuter les instructions concernant l'exploitation de l'installation de production qui sont transmises par le gestionnaire du réseau en vue d'assurer la sécurité et la sûreté du réseau HTB et la qualité de son fonctionnement. Ces instructions peuvent être données :

- lors du fonctionnement normal du réseau HTB ;
- en présence de conditions dégradées de ce réseau ;
- en vue du maintien de l'alimentation par l'installation de production d'une partie séparée de ce réseau ;
- lors de la participation de l'installation de production à la reconstitution de ce réseau suite à un incident de grande ampleur. »

4.3. PROGRAMME D'APPEL

Référence : Article 83 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Le gestionnaire de réseau communique au producteur par l'intermédiaire du centre de conduite mentionné [au § 4.2] le programme d'appel de l'installation de production. Les informations devant être transmises, la fréquence de leur mise à jour, et leurs délais sont précisés dans la convention d'exploitation []. La convention d'exploitation s'appuie sur les stipulations des contrats conclus entre le gestionnaire du réseau et le producteur. »

4.4. PARTICIPATION AUX REGLAGES DE FREQUENCE ET DE TENSION

La participation aux réglages de fréquence et de tension par l'utilisation des capacités constructives de réglage de fréquence décrites aux §3.3 et §3.2 doit être effective à tout moment dès lors que l'installation est couplée au réseau, sauf dans des circonstances particulières convenues avec le gestionnaire de réseau en raison de l'état de l'installation, et précisées dans la convention d'exploitation.

ANNEXE 1 : INFORMATIONS A FOURNIR AU GESTIONNAIRE DE RESEAU.

La liste des informations répertoriées ci-dessous constitue la collecte minimale des données à fournir au cours des échanges avec le gestionnaire de réseau et avant la déclaration de mise en service industrielle de l'installation. Elles seront regroupées en annexe à « l'Engagement de Performances vis à vis de la Sûreté Système » défini dans le SEI REF 05.

Documentation générale

En plus des caractéristiques relatives aux éléments composant l'installation de production, le producteur fournira les documents suivants :

Puissance unitaire maximale de chaque machine électrogène de l'installation de production :

Schéma unifilaire général de l'installation (HTA /HTB),

Caractéristique de fonctionnement de l'installation en fonction de la température ambiante

Caractéristiques de l'Alternateur

Constructeur :

Type :

Tension nominale U_n (V)

Diagramme PQ de l'alternateur

Base de per-unitage (p.u) des gandeurs

Réactance synchrone directe X_d (p.u)

Réactance transitoire directe X'_d (p.u)

Réactance subtransitoire directe X''_d (p.u)

Réactance synchrone quadratique X_q (p.u)

Réactance transitoire quadratique X'_q (p.u)

Réactance subtransitoire quadratique X''_q (p.u)

Réactance statorique X_s (p.u)

Résistance statorique R_s (p.u)

Note : les valeurs saturées et non-saturées des réactances doivent être fournies

Courbe de saturation à vide

Puissance nominale S_n (MVA)

Puissance Max (MW)

Facteur de puissance

Cte de temps transitoire directe T'_d0 (s)

Cte de temps subtransitoire directe T''_d0 (s)

Cte de temps transitoire quadratique T'_q0 (s)

Cte de temps subtransitoire quadratique T''_q0 (s)

Valeurs d'inerties et vitesses de rotation de la ligne d'arbre

Alternateur : MR^2 (kg.m²) et Vitesse de rotation (tr/min)

Accouplement : MR^2 (kg.m²) et Vitesse de rotation (tr/min)

Réducteur : MR^2 (kg.m²) et Vitesse de rotation (tr/min)

MR^2 Process: MR^2 (kg.m²) et Vitesse de rotation (tr/min)

Constante d'inertie équivalente de l'ensemble de la ligne d'arbre en s, per-unité par le S_n alternateur (MW.s/MVA)

Caractéristiques de l'excitatrice

Constructeur :

Type :

Tension nominale (V)

Courant nominal (A)

Puissance nominale (W)

Tension à pleine charge (V)

Courant à pleine charge (A)

Caractéristiques du Transformateur

Puissance nominale S_n : (MVA)	Pertes fer (kW)
Nb d'enroulements	Pertes cuivre (kW)
Tension nominale HTB (kV):	Changeur de prise :
Tension nominale HTA (kV)	Nb de prises
Tension de court-circuit (%)	Prise Min
Couplage	Prise Max.
Courbe de saturation à vide	

Consommation des services auxiliaires du groupe

Puissance Active P (kW)

Puissance Réactive Q (kVAR)

Relais de Protection (Protection de découplage)

Seuil Maximum de Fréquence (Hz)	Seuil Minimum de Tension 2 avant déclenchement (% Un)
Temporisation Max. fréquence (s)	Temporisation Min. de Tension 2 (s)
Seuil Minimum de Fréquence (Hz)	Seuil Max. de Tension Homopolaire (%Un)
Temporisation Min. fréquence (s)	Tempo. Max. de Tension Homopolaire (s)
Seuil Maximum de Tension (% Un)	Seuil Maximum de Courant (A)
Temporisation Max. de Tension (s)	Temporisation Max. de Courant (s)
Seuil Minimum de Tension 1 avant ilotage (% Un)	Seuil Maximum de Courant Homo.(A)
Temporisation Min. de Tension 1 (s)	Temporisation Max. de Courant Homo (s)

Modèles dynamiques

Process

- ◆ Constructeur et type du régulateur de vitesse
- ◆ Fonctions de transfert du process et régulateur de vitesse sous forme de schéma blocs.
- ◆ Paramètres du process et du régulateur de vitesse.
- ◆ Dossier de validation des modèles process et régulation de vitesse sur la base des essais de mise en service décrits dans SEI REF 08.
- ◆ Modèles numériques du régulateur de vitesse et du process.

Alternateur - Excitatrice

- Constructeur et type du régulateur de tension
- Fonctions de transfert du système d'excitation et du régulateur de tension sous forme de schéma blocs.
- Paramètres du système d'excitation et du régulateur de tension.
- Paramétrage permettant l'inhibition du SEP (si SEP inclus dans le schéma bloc fourni)
- Dossier de validation des modèles excitatrice et régulation de tension sur la base des essais de mise en service

décrits dans SEI REF 08.

- Modèles numériques de l'excitatrice et le la régulation de tension

ANNEXE 2 : CAHIER DES CHARGES DES SIMULATIONS

1. Fiche Simulation n° 1 : Comportement dynamique de la régulation de tension et Stabilité en petits mouvements

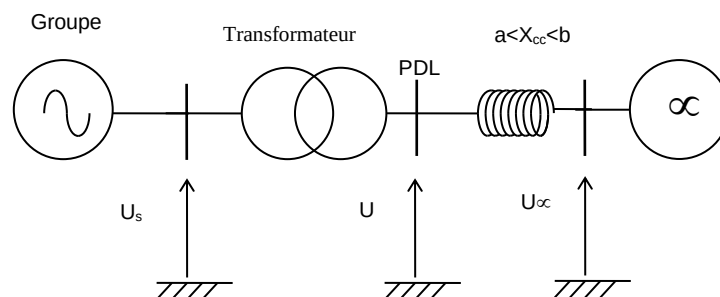
Objectifs

Pour toutes les configurations d'exploitation du réseau (réactance de liaison X_{cc} comprise entre a et b), chaque groupe de production doit rester stable quel que soit son régime de fonctionnement, dans les plages normales et exceptionnelles de tension et de fréquence, et quels que soient les niveaux de puissance active et réactive qu'elle produit.

Description

Modèle utilisé :

L'étude du comportement dynamique de la régulation de tension de chaque groupe et de la stabilité en petits mouvements est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où chaque groupe de production est mis en antenne sur un réseau de tension et de fréquence constante (réseau "infini") au travers d'une réactance de liaison X_{cc} comprise entre a et b.



1. Evaluation de la robustesse :

Calcul des marges de stabilité (marge de module, marge de module complémentaire, marge de retard, cf. annexe 1 du présent cahier des charges pour les simulations) pour le point de fonctionnement $P = P_{installée}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$ au PDL ainsi que pour les trois points de fonctionnement suivants :

A : $P = P_{installée}$, $Q = 0,43 P_{brute\ max}$ et $U = U_{dim}$

B : $P = P_{installée}$, $Q = 0,38 P_{brute\ max}$ et $U = 0,9 U_{dim}$

C : $P = P_{installée}$, $Q = -0,50 P_{brute\ max}$ et $U = U_{dim}$

A noter que, la puissance active, P , est la puissance brute du groupe, la puissance réactive, Q , est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U , est la tension au point de livraison.

La valeur de la tension du réseau infini U_{∞} doit rester dans les limites du régime exceptionnel. Au besoin, la puissance réactive du groupe peut être modifiée pour respecter cette contrainte.

2. Echelon de consigne du réglage primaire de tension :

Point de fonctionnement

Groupe de production initialement à $P = P_{installée}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$. La puissance active, P , est la puissance brute du groupe, la puissance réactive, Q , est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U , est la tension au point de livraison.

La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Événement simulé : Echelon de +2 % de la consigne du réglage primaire de tension.

Conditions particulières

Le test est réalisé pour les deux valeurs extrêmes de réactance de liaison ($X_{cc} = a$ et $X_{cc} = b$).

Chaque groupe de production doit être modélisé conformément aux informations fournies dans la fiche relative aux données (en particulier les protections de l'installation, le modèle du régulateur de tension, le modèle du système d'excitation et les limitations associées).

Données d'entrée (SEI → Producteur)

Réactance de liaison minimale exprimée Ω correspond à une P_{cc} maximale au PDL : valeur $X_{cc} = a$ à préciser.

Réactance de liaison maximale exprimée Ω correspond à une P_{cc} minimale au PDL : valeur $X_{cc} = b$ à préciser.

Résultats (Producteur → SEI)

1. Eléments à fournir

Les hypothèses et les modèles adoptés seront précisés et justifiés.

Les tracés des courbes temporelles des grandeurs listées ci-après seront fournis pour chaque groupe (les données doivent être identifiées, les échelles doivent être adaptées et les unités précisées) :

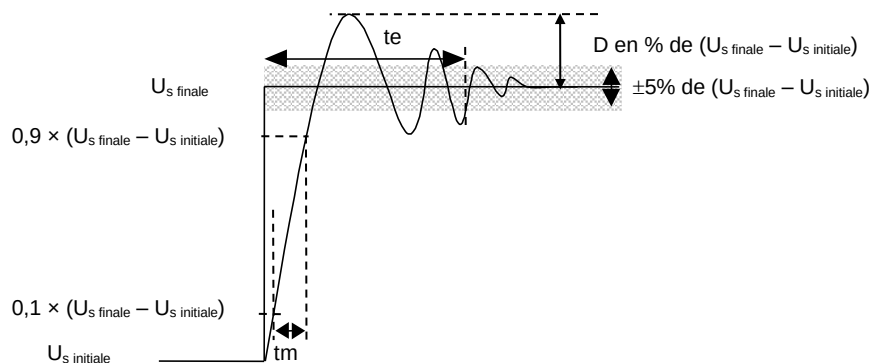
- Tension au point de livraison,
- Puissance active au point de livraison,
- Puissance réactive au point de livraison,
- Vitesse rotor,
- Consigne du réglage primaire de tension,
- Grandeur asservie par le réglage primaire de tension.

Les résultats des calculs des marges de stabilité et le modèle utilisé seront présentés.

2. Analyse à effectuer pour l'échelon de consigne du régulateur primaire

Les caractéristiques suivantes doivent être déterminées :

- Temps d'établissement, t_e , à $\pm 5\%$ de $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$
- Temps de montée, t_m , entre 10% et 90% de $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$.
- Dépassement, D : différence entre la valeur maximale de U_s et $U_s \text{ finale}$, rapportée à $(U_s \text{ finale} - U_s \text{ initiale})$.
- Ecart statique (noté $\varepsilon'\%$), entre la grandeur asservie injectée dans le régulateur de tension et la consigne du régulateur de tension :
- Temps d'amortissement de la puissance active au point de livraison à $\pm 1\%$ de sa valeur finale.



Critères de conformité

Pour garantir une bonne robustesse, la régulation primaire de tension doit présenter pour l'ensemble des points de fonctionnement demandés :

- Une marge de module supérieure ou égale à 0,34 ;
- Une marge de module complémentaire supérieure à 0,33 ;
- Une marge de retard supérieure à 34 ms.

Sur échelon de consigne de la régulation primaire de tension :

- L'unité de production ne doit pas perdre la stabilité pour les essais d'échelon de consigne ;
- Le temps d'établissement, t_e , doit être inférieur à 10 s ;
- Le temps de montée, t_m , doit être inférieur à 2 s ;
- Le dépassement, D , doit être inférieur à 10 % ;
- L'écart statique, $\varepsilon'\%$, doit être inférieur à 0,2 % ;
- Le temps d'amortissement de la puissance électrique au point de livraison à $\pm 1\%$ de sa valeur finale doit être inférieur à 10 s.

2. Fiche Simulation n° 2 : Stabilité sur report de charge

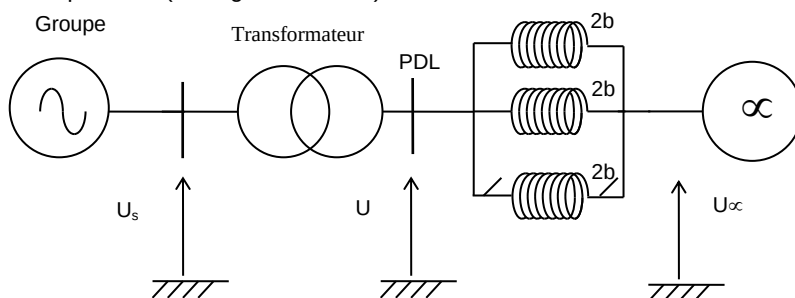
Objectifs

L'objectif est de vérifier que chaque groupe de production reste stable lors d'un report de charge de référence. Ce report de charge correspond à une variation de configuration du réseau.

Description

Modèle utilisé :

L'étude de stabilité sur report de charge est réalisée à l'aide d'un schéma simplifié du réseau où chaque groupe de production est mis en antenne sur un réseau de tension et de fréquence constante (réseau "infini") au travers de 3 lignes de réactance $2b$ en parallèle (voir figure suivante).



Point de fonctionnement :

Groupe de production initialement à $P = P_{installée}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$. La puissance active, P , est la puissance brute du groupe, la puissance réactive, Q , est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U , est la tension au point de livraison.

La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Evènement simulé : Ouverture d'une ligne.

Conditions particulières

Chaque groupe de production doit être modélisé conformément aux informations fournies dans la fiche sur les données (en particulier les protections de groupe, le modèle du régulateur de tension, le modèle du système d'excitation et les limitations associées).

Données d'entrée (SEI → Producteur)

Réactance de liaison maximale exprimée Ω correspond à une P_{cc} minimale au PDL : valeur $X_{cc} = b$ à préciser

Résultats (Producteur → SEI)

1. Eléments à fournir

Les hypothèses et les modèles adoptés seront précisés et justifiés.

Les tracés des courbes temporelles des grandeurs listées ci-après seront fournis (les données doivent être identifiées, les échelles doivent être adaptées et les unités précisées).

- Tension au point de livraison,
- Puissance active fournie par groupe de production au point de livraison,
- Puissance réactive fournie par groupe de production au point de livraison,
- Vitesse rotor,
- Consigne du réglage primaire de tension,
- Grandeur asservie par le réglage primaire de tension.

2. Analyse à effectuer

La donnée suivante doit être déterminée :

- Temps d'amortissement de la puissance électrique à ± 5 % de sa valeur finale.

Critères de conformité

Chaque groupe de production doit rester stable sur report de charge (pas de perte de synchronisme et/ou pas de déclenchement sur une protection de l'installation).

Le temps d'amortissement de la puissance électrique au point de livraison à ± 5 % de sa valeur finale doit être inférieur à 10 secondes.

3. Fiche Simulation n° 3 : Stabilité sur court-circuit

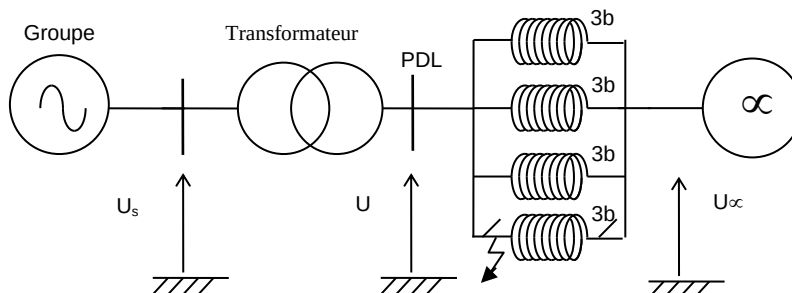
Objectifs

Il s'agit d'évaluer les risques de perte de stabilité et de découplage de chaque groupe de production suite à un défaut triphasé sur le réseau normalement éliminé.

Description

Modèle utilisé :

L'étude de stabilité sur court-circuit est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où chaque groupe de production est mis en antenne sur un réseau de tension et de fréquence constante (réseau "infini") au travers de 4 lignes de réactance $3b$ en parallèle (voir figure suivante).



Point de fonctionnement :

Groupe de production initialement à $P = P_{installée}$, $Q = 0$ et $U = U_{dim}$. La puissance active, P , est la puissance brute du groupe, la puissance réactive, Q , est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U , est la tension au point de livraison.

La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Evènements simulés :

Défaut triphasé situé sur une des lignes de liaison à une distance du PDL égale à 1% de la longueur totale de la ligne. Ce court-circuit est éliminé en un temps T par l'ouverture des protections.

Conditions particulières

Chaque groupe de production doit être modélisé conformément aux informations fournies dans la fiche sur les données (en particulier les auxiliaires, les protections de groupe, le modèle du régulateur de tension, le modèle du système d'excitation et les limitations associées).

Données d'entrée (SEI → Producteur)

Réactance de liaison maximale exprimée Ω correspond à une P_{cc} minimale au PDL : valeur $X_{cc} = b$ à préciser
 $T = 150$ ms

Résultats (Producteur → SEI)

1. Eléments à fournir pour chacun des essais

Les hypothèses et le modèle adopté seront précisés et justifiés.

Les tracés des courbes temporelles des grandeurs listées ci-après seront fournis (les données doivent être identifiées, les échelles doivent être adaptées et les unités précisées).

- Tension au point de livraison,
- Puissance active fournie par groupe de production au point de livraison,
- Puissance réactive fournie par groupe de production au point de livraison,
- Vitesse rotor,
- Consigne du réglage primaire de tension,
- Grandeur asservie par le réglage primaire de tension.

2. Analyse à effectuer pour chacun des essais

- Temps d'amortissement de la puissance électrique à ± 5 % de sa valeur finale.

3. Calcul du temps limite d'élimination des défauts en dessous duquel le court-circuit n'entraîne pas la perte de stabilité (précision de 5 ms).

Critères de conformité

Chaque groupe de production doit rester stable (pas de perte de synchronisme et/ou pas de déclenchement sur une protection de groupe).

Le temps d'amortissement de la puissance électrique au point de livraison à ± 5 % de sa valeur finale doit être inférieur à 10 secondes.

4. Fiche Simulation n° 4 : Tenue de la tension sur variation de fréquence

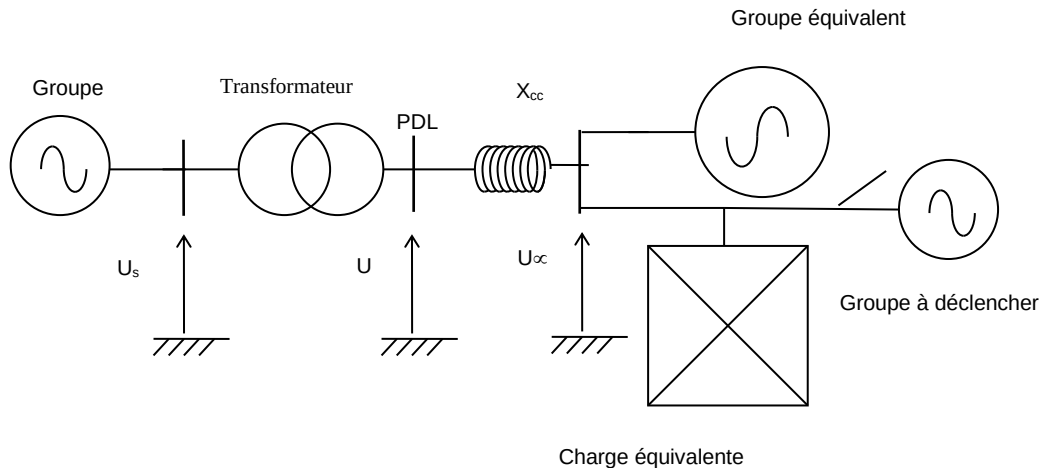
Objectifs

L'objectif est de vérifier que la tension aux bornes de chaque groupe reste bien réglée lors d'une variation importante de fréquence.

Description

Modèle utilisé :

L'étude de tenue de la tension sur variation de fréquence est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où chaque groupe de production est mis en antenne sur un réseau très puissant de fréquence et de tension variable au travers d'une réactance de liaison $X_{cc} = a$.



La charge équivalente est indépendante de la tension et de la fréquence, elle sera définie pour qu'une perte de production de 20 MW représente pour le système une perte de 10 % de la production en considérant le groupe à sa puissance maximale $P_{installée}$.

Le groupe à déclencher produit 20 MW et 0 Mvar

Groupe équivalent :

Caractéristiques alternateur :

$$S_n = 340 \text{ MVA}$$

$$P_n = 300 \text{ MW}$$

$$U_{\infty n} = 60 \text{ kV}$$

$$R_s = 0.003 \text{ p.u.}$$

$$X_s = 0.18 \text{ p.u.}$$

$$X_d = 1.09 \text{ p.u.}$$

$$X'_d = 0.28 \text{ p.u.}$$

$$X''_d = 0.185 \text{ p.u.}$$

$$T'_d = 11.1 \text{ s}$$

$$T''_d = 0.073 \text{ s}$$

$$X_q = 0.65 \text{ p.u.}$$

$$X''_q = 0.25 \text{ p.u.}$$

$$T''_q = 0.11 \text{ s}$$

Aucune saturation ne sera prise en compte pour la modélisation du groupe équivalent.

$$H = 2 \text{ MW.s/MVA}$$

$$\text{Régulation de tension : } E_t/E_{fn} = (U_c - U_s)/U_{sn} * 15/(1+0.3p)$$

Caractéristiques turbine :

$$P_n = 300 \text{ MW}$$

$$\text{Régulation de turbine : } P/P_n = (P_o/P_n + 1/0.04 * \Delta f/f_n) / (1+2.5p)$$

Point de fonctionnement :

Chaque groupe de production est initialement à $P = P_{\text{installée}}$, $Q=0$ et $U=U_{\text{dim}}$. La puissance active, P , est la puissance brute du groupe, la puissance réactive, Q , est la puissance réactive nette du groupe au point de livraison (PDL), et la tension, U , est la tension au point de livraison. La valeur de la tension du groupe équivalent U_{∞} doit rester dans les limites du régime exceptionnel. Au besoin, la puissance réactive de l'installation peut être modifiée pour respecter cette contrainte.

Evénement simulé :

Déclenchement du groupe à déclencher conduisant à une baisse de fréquence en régime permanent d'environ 200 mHz.

Conditions particulières

Chaque groupe de production est modélisé conformément aux informations fournies dans la fiche sur les données (en particulier les auxiliaires, les protections de groupe, le modèle de régulation de tension, le modèle du système d'excitation, les limitations associées, le modèle de régulation de vitesse et le modèle de la turbine)

Données d'entrée (SEI → Producteur)

Réactance de liaison minimale exprimée Ω correspond à une Pcc maximale au PDL : valeur $X_{cc} = a$ à préciser.

Résultats (Producteur → SEI)

Les hypothèses et les modèles adoptés seront précisés et justifiés.

Les tracés des courbes temporelles des grandeurs listées ci-après seront fournis (les données doivent être identifiées, les échelles doivent être adaptées et les unités précisées).

- Tension au point de livraison,
- Puissance active fournie par groupe de production au point de livraison,
- Puissance réactive fournie par groupe de production au point de livraison,
- Vitesse rotor,
- Consigne du réglage primaire de tension,
- Grandeur asservie par le réglage primaire de tension.

Critères de conformité

Sur le transitoire, la grandeur régulée par le régulateur primaire de tension est maintenue à moins de 5 % de sa valeur de consigne.

Chaque groupe garde le synchronisme

5. Fiche Simulation n° 5 : Régulation primaire de fréquence

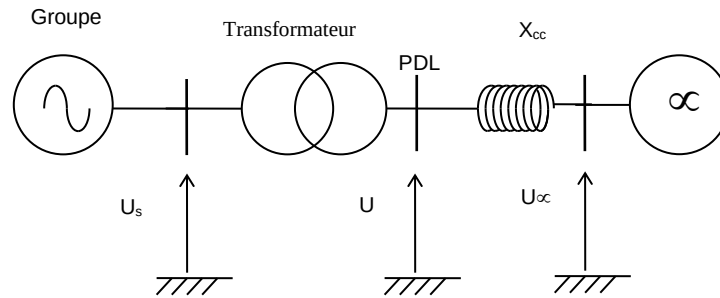
Objectifs

Le but de ces simulations est de vérifier que le groupe est capable de dégager sa réserve primaire, et ce dans les délais impartis ;

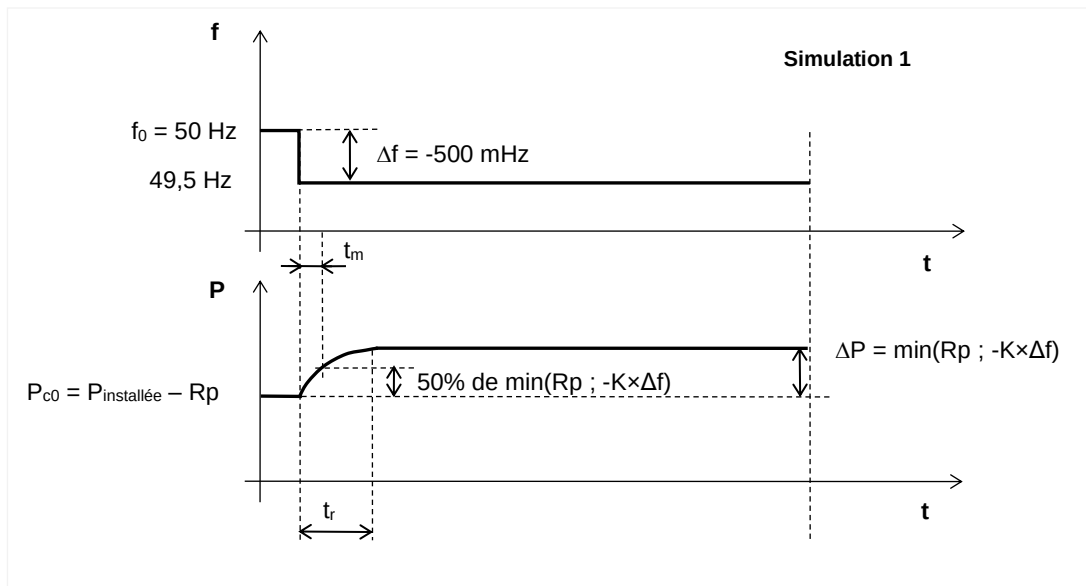
Description

Modèle utilisé :

L'étude du comportement dynamique de la régulation de fréquence de chaque groupe est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où chaque groupe de production est mis en antenne sur un réseau de tension et de fréquence constante (réseau "infini") au travers d'une réactance de liaison X_{cc} égale à $a = \text{à préciser } \Omega$.



Simulation 1 : Groupe à $P_{installée} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -500 mHz.



t_m : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 50 % de $\min(R_p ; -K \times \Delta f)$.

t_r : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95 % de $\min(R_p ; -K \times \Delta f)$.

Simulation 2 : Groupe à $P_{installée} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $-\partial \times f_0 \times R_p / P_{installée} = -200$ mHz

Simulation 3 : Groupe à $P_{installée} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -50 mHz.

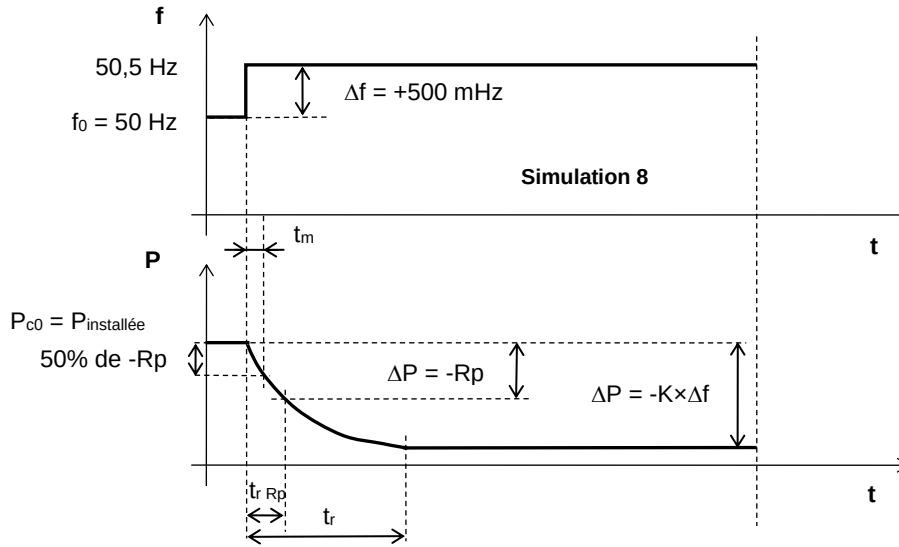
Simulation 4 : Groupe à $P_{installée} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -2 Hz

Simulation 5 : Groupe à P_{min} ; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -200 mHz.

Simulation 6 : Groupe à $P_{stable min}$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -200 mHz.

Simulation 7 : Groupe à $P_{\min}$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de -2 Hz.

Simulation 8 : Groupe à $P_{\text{installée}}$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $+500$ mHz.

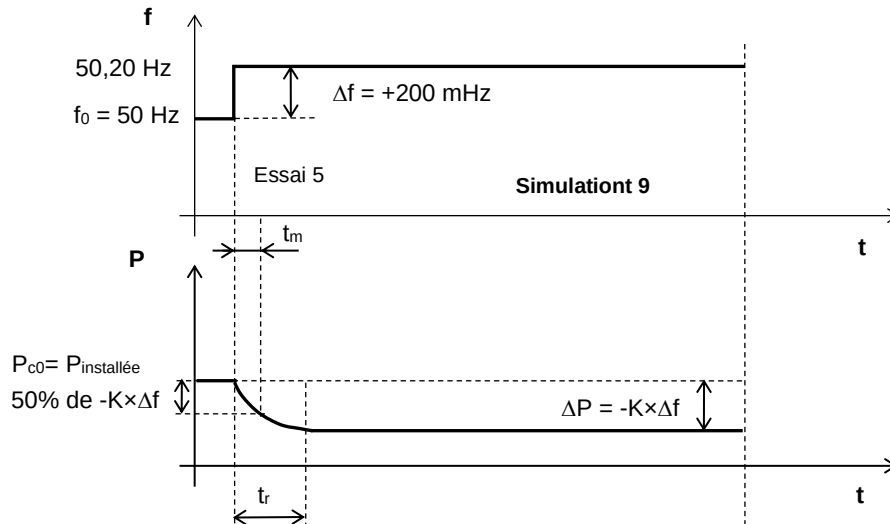


t_m : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 50% de $-R_p$.

$t_{r\ R_p}$: temps au bout duquel la réponse en puissance atteint $-R_p$.

t_r : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95% de $-K \times \Delta f$.

Simulation 9 : Groupe à $P_{\text{installée}}$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $\partial \times f_0 \times R_p / P_{\text{installée}} = +200$ mHz.

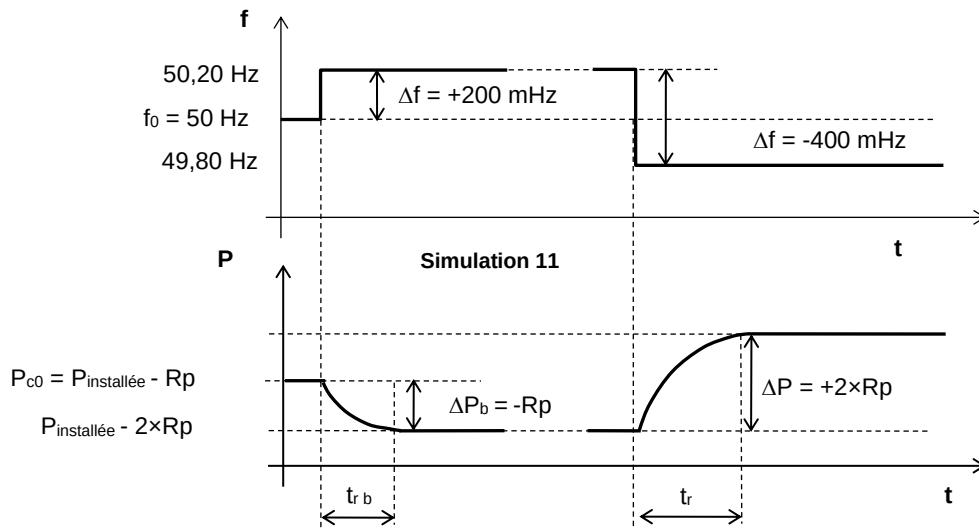


t_m : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 50% de $-K \times \Delta f$.

t_r : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95% de $-K \times \Delta f$.

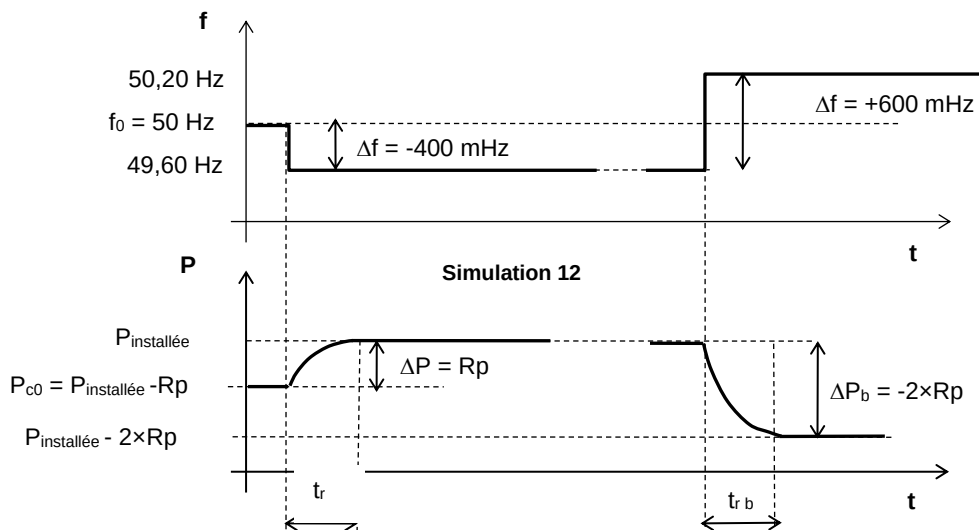
Simulation 10 : Groupe à $P_{\text{installée}}$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{brute max}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $+50$ mHz.

Simulation 11 : Groupe à $P_{\text{installée}} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $\partial \times f_0 \times R_p / P_{\text{installée}} = +200\text{ mHz}$, puis après environ 15 secondes de fonctionnement stabilisé à $P_{\text{installée}} - 2 \times R_p$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $-2 \times \partial \times f_0 \times R_p / P_{\text{installée}} = -400\text{ mHz}$ puis fonctionnement à $P_{\text{installée}}$.

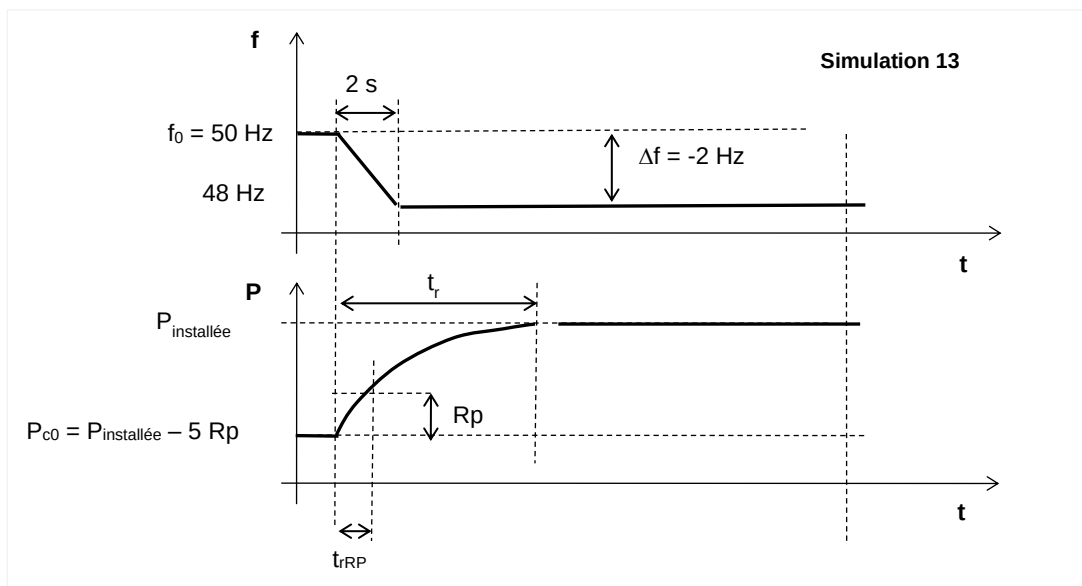


t_{rb} : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95 % de $-R_p$.
 t_r : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95 % de $+2 \times R_p$.

Simulation 12 : Groupe à $P_{\text{installée}} - R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $-2 \times \partial \times f_0 \times R_p / P_{\text{installée}} = -400\text{ mHz}$, puis après environ 15 secondes de fonctionnement stabilisé à $P_{\text{installée}}$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse un échelon, Δf , de $+3 \times \partial \times f_0 \times R_p / P_{\text{installée}} = +600\text{ mHz}$ puis fonctionnement à $P_{\text{installée}} - 2 \times R_p$



Simulation 13 : Groupe à $P_{\text{installée}} - 5 \times R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{\text{installée}}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse une chute de fréquence selon une pente de -1 Hz/s jusqu'à 48 Hz, puis fonctionnement à $P_{\text{installée}}$.



t_{rP} : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint R_p .
 t_r : temps au bout duquel la réponse en puissance atteint 95% de $P_{installée}$.

Simulation 14 : Groupe à $P_{installée} - 5 \times R_p$; avec $R_p = 10\%$ de $P_{installée}$ et $\partial = 4\%$, on injecte à l'entrée du régulateur de vitesse une chute de fréquence selon une pente de -4 Hz/s jusqu'à 46 Hz, puis fonctionnement à $P_{installée}$

Conditions de réalisation

Les simulations devront comporter au moins 30s de régime établi en fin de simulation.

Spécifications à fournir par le Gestionnaire du Réseau HTB

Statisme permanent du régulateur de vitesse, $\partial = 4\%$ pour toutes les simulations

$R_p = 10\% \times P_{installée}$

Résultats à communiquer par le Producteur

Les hypothèses et les modèles adoptés seront précisés et justifiés.

- Les tracés des courbes temporelles des grandeurs listées ci-après seront fournis (les données doivent être identifiées, les échelles doivent être adaptées et les unités précisées).
 - puissance active fournie par le groupe en simulation au point de livraison ;
 - fréquence du réseau au point de livraison ;
 - consigne injectée artificiellement dans le régulateur de vitesse ;
 - position de l'actionneur ;
 - vitesse du groupe.
- Indication sur les courbes, des valeurs suivantes :
 - t_m ,
 - t_r pour toutes les simulations,
 - t_{rP} pour les simulations 4, 8, 7, 13 et 14
 - t_{rb} pour la simulation 11, 12
 - ΔP ,
 - ΔP_b pour la simulation 11, 12

Pour les simulations 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 et 10 :

- Calcul de l'énergie réglante K et du statisme ∂ du régulateur à partir de la valeur de $\Delta P = P - P_{c0}$ mesurée et des formules suivantes :

$$K = -\frac{\Delta P}{\Delta f} \quad \partial = \frac{\Delta f / f_0}{\Delta P / P_{installée}}$$

Critères de conformité

Les sorties doivent prouver visuellement le respect des points suivants :

- Forme d'onde non oscillante.

Pour les simulations 1, 2, 3, 5, 6, 9 et 10 :

- Temps t_r inférieur à 8 s.
- Temps t_m inférieur à 4 s.

Pour la simulation 8 :

- Temps t_r inférieur à $8 + \frac{(K \times \Delta f - R_p)}{|\text{pente de baisse rapide en MW/min}|} \cdot 60 = [...] \text{ s.}$ *[Si l'installation ne dispose pas de pente de baisse rapide, utiliser la pente de baisse normale.]*
- Temps t_{rRp} inférieur à 8 s.

Pour les simulations 10 :

- Temps t_r inférieur à $8 + \frac{R_p}{|\text{pente de hausse rapide en MW/min}|} \cdot 60 = [...] \text{ s.}$ *[Si l'installation ne dispose pas de pente de hausse rapide, utiliser la pente de hausse normale.]*
- Temps t_{rb} inférieur à 8 s.

Pour les simulations 4 et 7 :

- Temps t_r inférieur à 1.5 s.

Pour la simulation 13 :

Temps t_{rRP} inférieur à 1.25 s.

Pour la simulation 14 :

- Temps t_{rRP} inférieur à 1 s.

Pour les simulations 1, 2, 3, 5 et 6 :

- Variation $\Delta P = \min(R_p ; -K \times \Delta f)$ maintenue (après t_r).

Pour les simulations 4, 7, 8, 9 et 10 :

- Variation $\Delta P = -K \times \Delta f$ maintenue 15 min (après t_r).

Pour la simulation 6 :

- Variation $\Delta P = +2 \times R_p$ maintenue 15 min (après t_r).

Pour les simulations 2, 3, 5, 6, 9 et 10 :

- Energie réglante K mesurée = énergie réglante préréglée à ± 10 % près.

Pour les simulations 4, 8 et 11, 12, 13 et 14 :

- Energie réglante K mesurée donnée pour information.

6. Fiche n° 6 : Tenue de l'installation aux creux de tension

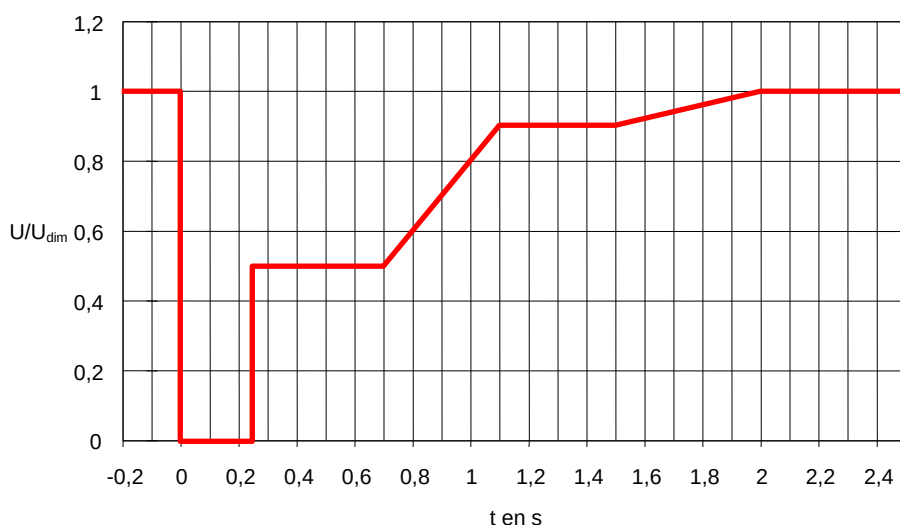
Objectifs

Il s'agit d'évaluer les risques de découplage de l'installation de production sur creux de tension, en dehors de tout problème de stabilité qui pourrait survenir à la suite d'un tel creux de tension. Les creux de tension, observés sur le réseau et auxquels peut être soumise l'installation de production, peuvent en effet affecter notamment le fonctionnement de ses auxiliaires, mais ne doivent pas provoquer le déclenchement de l'ensemble de l'installation.

Description

Pour tout creux de tension monophasé ou triphasé respectant le gabarit suivant et n'entraînant pas la rupture de synchronisme de l'installation, aucun déclenchement de l'installation de production n'est admis.

- creux de tension de 100 % pendant 250 ms,
- palier à $0,5 U_{dim}$ pendant les 450 ms suivantes,
- retour linéaire à $0,9 U_{dim}$ pendant les 400 ms suivantes,
- palier à $0,9 U_{dim}$ pendant les 400 ms suivantes,
- retour linéaire à U_{dim} pendant les 500 ms suivantes.



Résultats (Producteur → SEI)

Résultat de l'étude permettant de garantir que l'installation supporte le gabarit de creux de tension : il n'est pas admis de déclenchement d'un auxiliaire vital de l'installation en cas d'apparition au point de livraison de tout creux de tension s'inscrivant dans le gabarit ci-dessus.

En cas de non respect du gabarit ci-dessus, présentation du gabarit de creux de tension que peut supporter l'installation (durée limite du pallier à $0,5U_{dim}$) et description du réglage des protections le limitant.

Critères de conformité

Respect du gabarit de creux de tension (attestation de tenue de l'installation à ce gabarit).

L'installation de production ne doit pas déclencher.

Remarque :

L'étude à réaliser concerne la simulation de la propagation dans l'installation électrique intérieure d'un creux de tension au point de livraison tel que défini par le gabarit puis la vérification de la tenue des auxiliaires vitaux au creux de tension résiduel ainsi calculé.

ANNEXE 3 : PRINCIPES DE CALCUL DES MARGES DE STABILITE

1. Définitions

Boucle de régulation

La structure classique d'une régulation est la suivante (figure 1) :

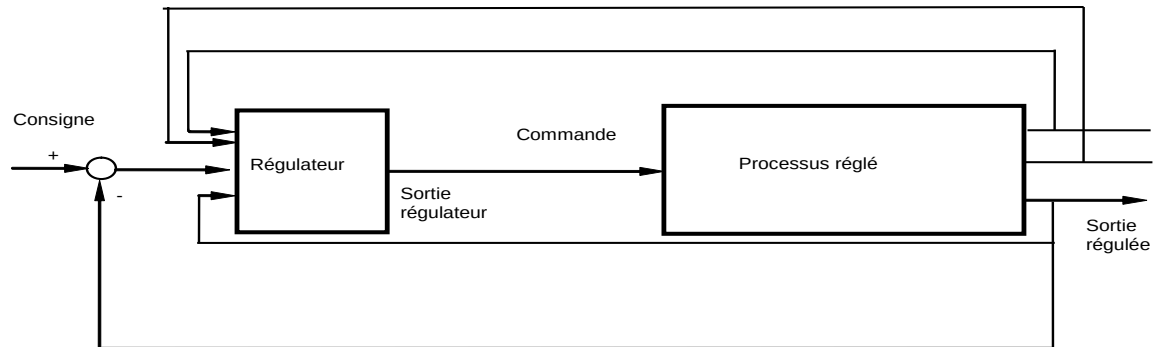


figure 1

Sur un tel schéma on peut définir la fonction de transfert en boucle ouverte et la fonction de transfert en boucle fermée. La fonction de transfert en boucle ouverte $H(p)$ correspond à l'ouverture de la boucle entre le régulateur et la commande et est égale à la transmittance - [Sortie régulateur] / [Commande].

Marges de stabilité

La stabilité d'un système bouclé est définie par la position de sa transmittance en **boucle ouverte $H(p)$** (p opérateur de Laplace) par rapport au point -1 dans le plan de Nyquist (figure 2). On définit classiquement en automatique les marges de stabilité suivantes :

La marge de gain M_g est la valeur dont on peut multiplier la transmittance $H(p)$ pour qu'elle passe par le point -1. Physiquement la marge de gain est égale à la valeur qui multipliée au gain du régulateur entraîne l'instabilité.

La marge de phase M_p est l'angle ϕ tel que $\text{Arg}[H(j\omega_0)] = \pi + \phi$ avec ω_0 pulsation au gain unité.

La marge de retard M_r est égale la marge de phase divisée par ω_0 . $M_r = M_p / \omega_0$.

Physiquement la marge de retard correspond au retard pur qui, inséré dans la boucle de régulation, entraîne l'instabilité

La marge de module M_m est définie comme la distance minimale au point -1. $M_m = \text{Min} (|1 + H(p)|)$.

C'est l'inverse du coefficient de résonance harmonique³ de la fonction de sensibilité $S = \frac{1}{1+H}$.

La marge de module complémentaire M_{mc} est définie comme l'inverse du coefficient de résonance harmonique de la fonction de sensibilité complémentaire $T = 1 - S = H/(1+H)$

Si on appelle λ la valeur du coefficient de résonance harmonique de T , la fonction de transfert en boucle ouverte sera

extérieure au " λ -cercle " de centre $\frac{-\lambda^2}{\lambda^2 - 1}$ et de rayon $\frac{\lambda}{|\lambda^2 - 1|}$ dans le plan de Nyquist (courbe de variation de la fonction

de transfert en fonction de la fréquence du signal ω).

La spécification demandée est $M_{mc} > 0,33$ c'est à dire $\lambda < 3,03$. Le " λ -cercle " correspondant a donc pour centre [-1,12 ; 0] et un rayon de 0,37

³ le coefficient de résonance harmonique d'une fonction de transfert $H(p)$ est égale à $\max (|H(p)|)$.

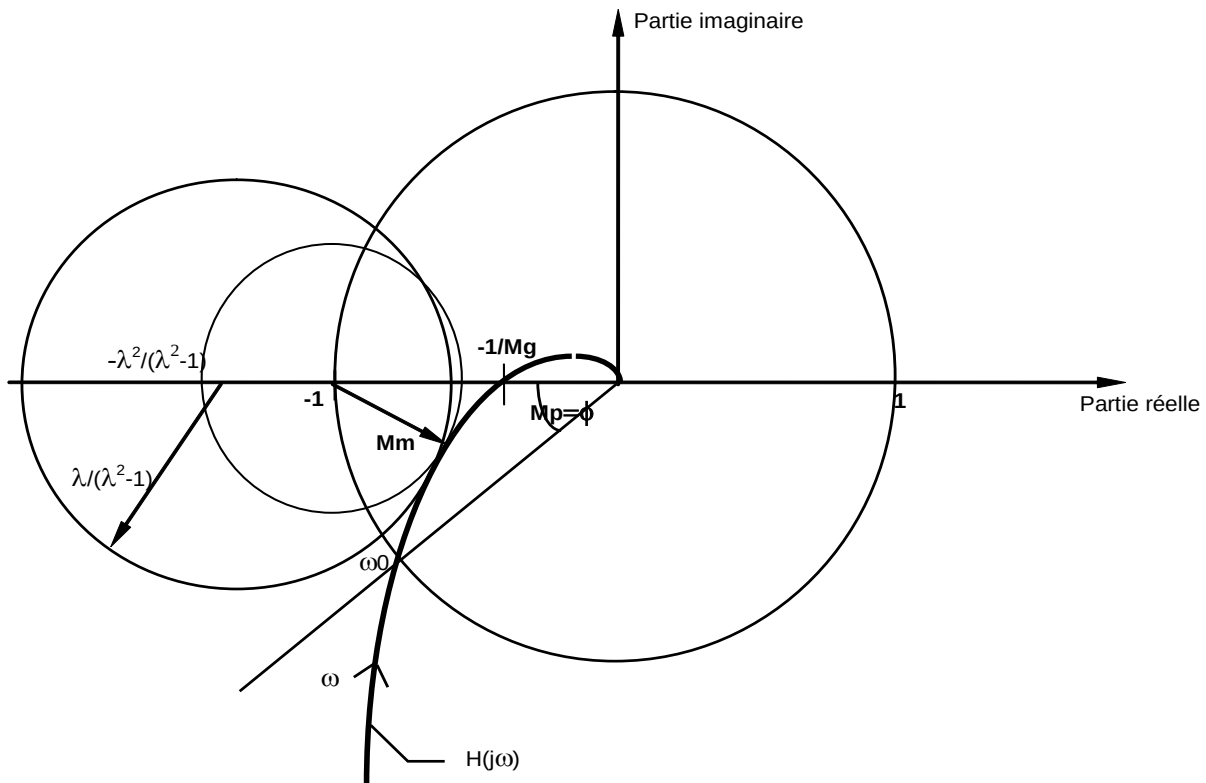
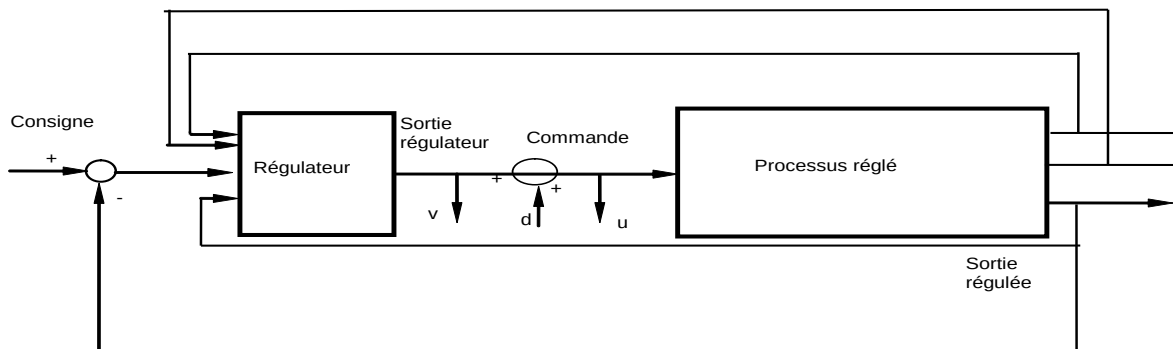


Figure 2

2. Principe des mesures des marges de modules

La marge de module et la marge de module complémentaire peuvent être mesurées en boucle fermée en injectant un signal additionnel entre la sortie du régulateur et la commande.



La fonction de transfert entre d et $-v$, $-v(p)/d(p)$, est égale à la fonction de sensibilité complémentaire T .

La fonction de transfert entre d et u , $u(p)/d(p)$, est égale à la fonction de sensibilité S .

De plus, cette mesure permet d'évaluer la marge de retard du régulateur.