# Documentation Technique de Référence

# Article 8.3.2 – Cahier des charges des capacités constructives Conditions Générales (Unité synchrone)

**Version 2.1 applicable à compter du 01/12/2021**

~~44~~ 49 pages

# Cahier des charges des Capacités Constructives Conditions générales

## Unité Synchrone

Ce document définit les capacités constructives demandées par RTE pour une unité de production de synchrone, d'une puissance active maximale [Pmax_unité], en cohérence avec le règlement UE n° 2016/631 de la Commission établissant un code de réseau sur les exigences applicables au raccordement au réseau des installations de production d'électricité [1], le Code de l'énergie [3], l'arrêté [2] ainsi qu'avec la Documentation Technique de Référence [4].

Ce document est accompagné par des conditions particulières permettant de préciser les paramètres spécifiques au projet et en particulier les éléments liés au contrôle de conformité.

Les données notées [..] sont définies dans les conditions particulières du projet

**Version RfG pour unités synchrones**

| Indice | Date | |
|---|---|---|
| 0.1 | 20/04/2019 | Version initiale pour mise en concertation sur Concerte (suite travaux de l'instance de concertation RfG) |
| 0.2 | 01/07/2019 | Prise en compte des remarques reçues lors de la concertation |
| 1.0 | 28/11/2019 | Prise en compte des remarques transmises par EDF suite à la concertation<br>Mise à jour des références à l'arrêté |
| 2.0 | 08/04/2020 | Transfert du contenu du §3.11 sur les échanges d'informations vers la trame-type de cahier des charges téléconduite |
| 2.1 | 01/12/2021 | Prise en compte des nouvelles règles des services systèmes pour le RSFP |
| | | |
| 2.2 | xx/xx/2022 | Prise en compte des critères de tension harmonique |

# SOMMAIRE

SOMMAIRE ..... 3
1. Objet du document ..... 5
2. Définitions ..... 5
3. Capacités constructives de l'unite de production ..... 8
3.1 Capacités constructives en réactif et réglage de la tension ..... 8
3.1.1 Tension de dimensionnement Udim ..... 8
3.1.2 Transformateur principal ..... 8
3.1.3 Capacités en puissance réactive ..... 8
3.1.4 Réglage primaire de tension ..... 10
3.1.5 Réglage secondaire de tension : asservissement du régulateur primaire de tension au RST 11
3.2 Réglage fréquence/puissance ..... 14
3.2.1 Mode de réglage restreint à la sur-fréquence (mode LFSM-O) ..... 14
3.2.2 Mode de réglage restreint à la sous-fréquence (mode LFSM-U) ..... 15
3.2.3 Réglage primaire de fréquence (mode FSM) ..... 16
3.2.4 Réglage secondaire fréquence puissance (RSFP) ..... 19
3.3 Comportement de l'unité de production pour la résolution des contraintes de transit ..... 20
3.4 Comportement de l'unité lors des régimes exceptionnels ..... 20
3.4.1 Conditions de découplage de l'unité lors des régimes exceptionnels ..... 20
3.4.2 Régimes exceptionnels en tension ..... 20
3.4.3 Régimes exceptionnels en fréquence ..... 23
3.4.4 Ecarts combinés Fréquence/Tension ..... 24
3.4.5 Comportement de l'unité de production en réseau séparé ..... 25
3.4.6 Couplage rapide après découplage fortuit sur aléa réseau ..... 25
3.5 Participation à la reconstitution du réseau ..... 27
3.5.1 Non perturbation de la reprise de service ..... 27
3.5.2 Reconstitution du réseau ..... 27
3.6 Stabilité ..... 27
3.6.1 Stabilité en petits mouvements ..... 28
3.6.2 Evaluation de la robustesse ..... 29
3.6.2.1 Echelon de consigne du réglage primaire de tension ..... 29
3.6.2.2 Echelon de la consigne RST Uref ..... 29
3.6.3 Stabilité sur report de charge ..... 29
3.6.4 Stabilité sur court-circuit ..... 30
3.6.5 Comportement en cas de rupture de synchronisme ..... 31
3.6.6 Découplage réglage fréquence/tension ..... 31
3.7 Non déclenchement sur creux de tension ..... 31
3.8 Non déclenchement sur surtension ..... 33
3.9 Perturbations ..... 34
3.9.1 Unité de production raccordée en HTB 1 ou HTB 2 ..... 34
3.9.2 Unité de production raccordée en HTB 3 ..... 35
3.9.3 Scc au point de raccordement est inférieure aux valeurs normées ..... 35
3.9.4 Tensions harmoniques ..... 36~~35~~
3.10 Données permettant de simuler le comportement de l'installation ..... 43~~41~~
3.11 Echanges d'informations ..... 45~~43~~
3.12 3.12 Système de protection ..... 45~~43~~
4. Fiches de Contrôle avant l'acces définitif au reseau ..... 47~~44~~
5. Références ..... 48~~45~~
6. Liste des annexes ..... 49~~46~~
ANNEXE 1 : Principes de calcul des marges de stabilité ..... 50~~47~~
1. Définitions ..... 50~~47~~
1.1 Boucle de régulation ..... 50~~47~~
1.2 Marges de stabilité ..... 50~~47~~

2. Principe des mesures des marges de modules ..... 51~~48~~
ANNEXE 2 : Définitions des caractéristiques de la réponse à un échelon ..... 52~~49~~
~~SOMMAIRE ..... 3~~
~~1. Objet du document ..... 5~~
~~2. Définitions ..... 5~~
~~3. Capacités constructives de l'unite de production ..... 8~~
~~3.1 Capacités constructives en réactif et réglage de la tension ..... 8~~
~~3.1.1 Tension de dimensionnement Udim ..... 8~~
~~3.1.2 Transformateur principal ..... 8~~
~~3.1.3 Capacités en puissance réactive ..... 8~~
~~3.1.4 Réglage primaire de tension ..... 10~~
~~3.1.5 Réglage secondaire de tension : asservissement du régulateur primaire de tension au RST 11~~
~~3.2 Réglage fréquence/puissance ..... 14~~
~~3.2.1 Mode de réglage restreint à la sur-fréquence (mode LFSM-O) ..... 14~~
~~3.2.2 Mode de réglage restreint à la sous-fréquence (mode LFSM-U) ..... 15~~
~~3.2.3 Réglage primaire de fréquence (mode FSM) ..... 16~~
~~3.2.4 Réglage secondaire fréquence puissance (RSFP) ..... 19~~
~~3.3 Comportement de l'unité de production pour la résolution des contraintes de transit ..... 20~~
~~3.4 Comportement de l'unité lors des régimes exceptionnels ..... 20~~
~~3.4.1 Conditions de découplage de l'unité lors des régimes exceptionnels ..... 20~~
~~3.4.2 Régimes exceptionnels en tension ..... 20~~
~~3.4.3 Régimes exceptionnels en fréquence ..... 23~~
~~3.4.4 Ecarts combinés Fréquence/Tension ..... 24~~
~~3.4.5 Comportement de l'unité de production en réseau séparé ..... 25~~
~~3.4.6 Couplage rapide après découplage fortuit sur aléa réseau ..... 25~~
~~3.5 Participation à la reconstitution du réseau ..... 27~~
~~3.5.1 Non perturbation de la reprise de service ..... 27~~
~~3.5.2 Reconstitution du réseau ..... 27~~
~~3.6 Stabilité ..... 27~~
~~3.6.1 Stabilité en petits mouvements ..... 28~~
~~3.6.2 Evaluation de la robustesse ..... 29~~
~~3.6.2.1 Echelon de consigne du réglage primaire de tension ..... 29~~
~~3.6.2.2 Echelon de la consigne RST Uref ..... 29~~
~~3.6.3 Stabilité sur report de charge ..... 29~~
~~3.6.4 Stabilité sur court-circuit ..... 30~~
~~3.6.5 Comportement en cas de rupture de synchronisme ..... 31~~
~~3.6.6 Découplage réglage fréquence/tension ..... 31~~
~~3.7 Non déclenchement sur creux de tension ..... 31~~
~~3.8 Non déclenchement sur surtension ..... 33~~
~~3.9 Perturbations ..... 34~~
~~3.9.1 Unité de production raccordée en HTB 1 ou HTB 2 ..... 34~~
~~3.9.2 Unité de production raccordée en HTB 3 ..... 35~~
~~3.9.3 Scc au point de raccordement est inférieure aux valeurs normées ..... 35~~
~~3.10 Données permettant de simuler le comportement de l'installation ..... 35~~
~~3.11 Echanges d'informations ..... 37~~
~~3.12 Système de protection ..... 38~~
~~4. Fiches de Contrôle avant l'acces définitif au reseau ..... 39~~
~~5. Références ..... 40~~
~~6. Liste des annexes ..... 41~~
~~ANNEXE 1 : Principes de calcul des marges de stabilité ..... 42~~
~~1. Définitions ..... 42~~
~~1.1 Boucle de régulation ..... 42~~
~~1.2 Marges de stabilité ..... 42~~
~~2. Principe des mesures des marges de modules ..... 43~~
~~ANNEXE 2 : Définitions des caractéristiques de la réponse à un échelon ..... 44~~

# 1. OBJET DU DOCUMENT

Ce document définit les capacités constructives demandées par RTE pour une unité de production synchrone, d'une puissance active maximale [$P_{max\ unité}$], en cohérence avec le Code de l'énergie [1] et l'arrêté [2] ainsi qu'avec la Documentation Technique de Référence [3]. Il décrit également les simulations et essais à réaliser avant l'accès au réseau définitif de cette unité de production. Ce cahier des charges est défini pour une seule unité même si l'installation en comporte plusieurs.

L'unité synchrone est donc considérée de manière individuelle, la création d'une unité synchrone n'ayant pas d'impact sur les capacités constructives des autres unités raccordées au même point de raccordement (synchrones ou parcs non synchrones).

# 2. DEFINITIONS

Les définitions introduites par le code RfG sont rappelées ci –après :

**Unité de production d'électricité synchrone :** un ensemble indivisible d'équipements qui peut produire de l'énergie électrique de telle sorte que la fréquence de la tension générée, la vitesse de rotation de l'alternateur et la fréquence de la tension du réseau sont égales dans un rapport constant, et donc au synchronisme.

**Installation de production d'électricité :** une installation qui convertit de l'énergie primaire en énergie électrique et qui se compose d'une ou de plusieurs unités de production d'électricité raccordées à un réseau en un ou plusieurs points de raccordement; L'installation comprend l'ensemble des éléments situés en amont du point de raccordement.

**Pmax unité** ($P_{max\ unité}$) **:** puissance active maximale que peut délivrer sans limitation de durée l'unité de production d'électricité, diminuée de toute consommation liée uniquement à la facilitation du fonctionnement de cette unité de production d'électricité et qui n'est pas injectée sur le réseau, telle que stipulée dans la convention de raccordement ou telle que convenue entre le gestionnaire de réseau compétent et le propriétaire d'une installation de production d'électricité.

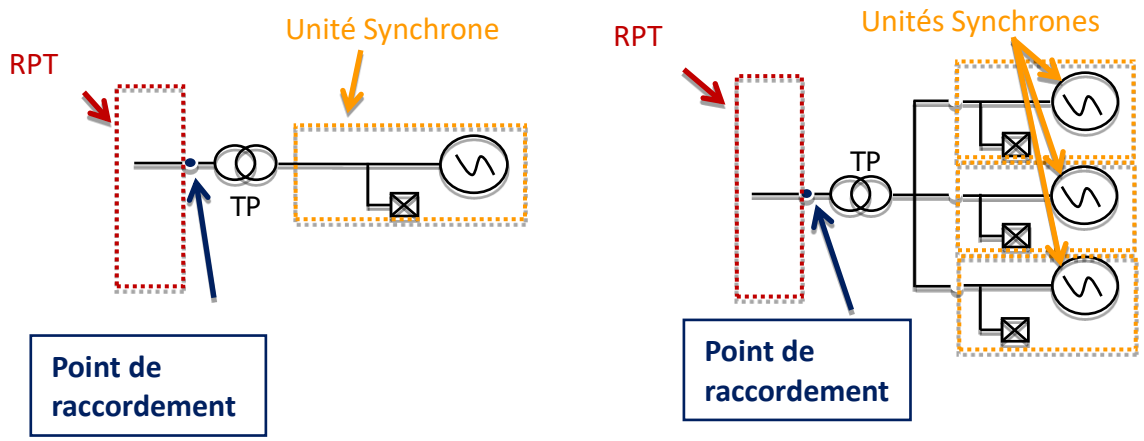
*Nota : cette Pmax unité est délivrée sans limitation de durée sous réserve de disponibilité de l'énergie primaire et dans les conditions qui maximisent la puissance produite*

**Pmin unité (**$P_{min\ unité}$**):** la puissance active minimale à laquelle l'unité de production peut fonctionner (jusqu'à laquelle l'unité de production d'électricité peut fournir du réglage de puissance active).

**Minimum technique :** la puissance active minimale à laquelle l'unité de production peut fonctionner de manière stable sans limitation de durée.

*Nota : ce minimum technique est délivré sans limitation de durée sous réserve de disponibilité de l'énergie primaire*

**Point de raccordement :** l'interface par laquelle l'unité de production d'électricité est connectée à un réseau de transport, un réseau en mer, un réseau de distribution, y compris les réseaux de distribution fermés, ou à une liaison HVDC, telle que définie dans la convention de raccordement.




**Cas du transformateur dédié** **Cas du transformateur partagé**

**Figure 1 : Schémas de raccordement des unités synchrones** *(schémas simplifiés donnés à titre d'exemple)*

**Insensibilité :**

La caractéristique intrinsèque du système de contrôle-commande spécifiée sous forme « de la grandeur minimale » de la variation de fréquence ou du signal d'entrée qui aboutit à une modification de la puissance ou du signal de sortie lorsque le signal change de sens

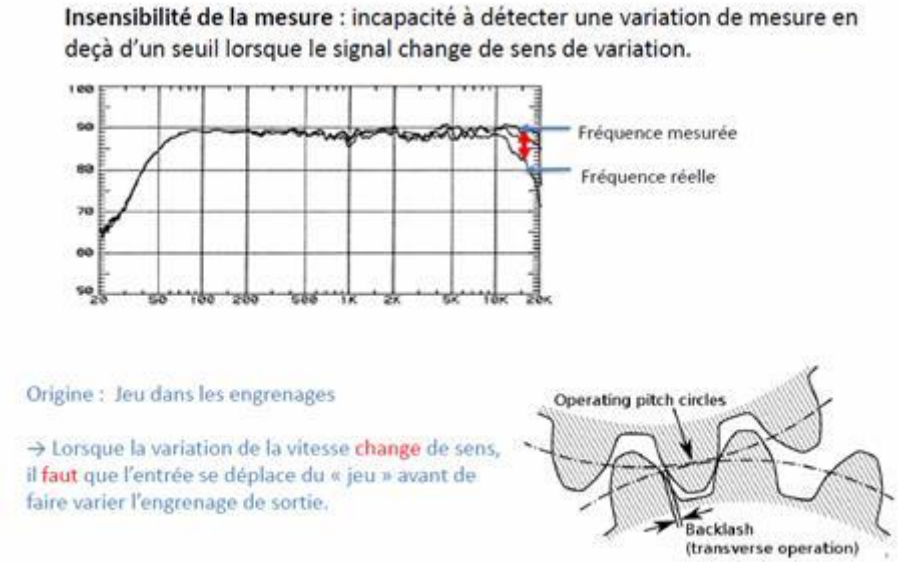
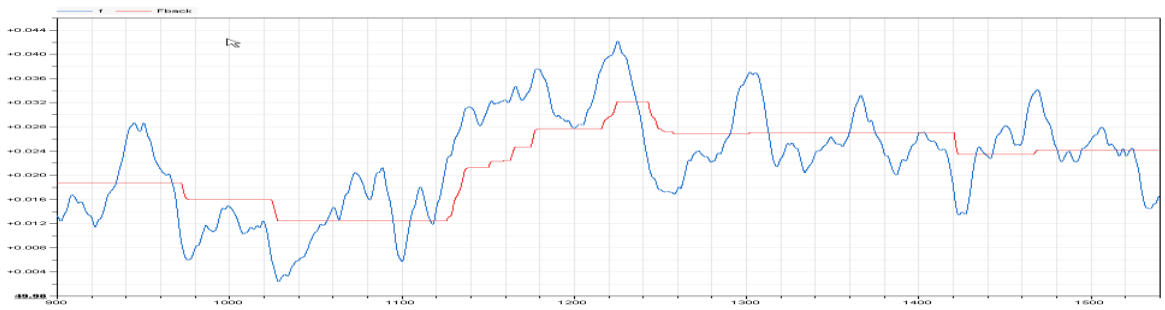



**Figure 1 : Insensibilité**

Sur la fréquence cela se traduit pas un filtrage des petites variations.



Cet effet de filtrage peut s'apparenter à une bande morte dynamique qui se déplace avec la valeur de la fréquence, elle est donc beaucoup plus efficace. De plus on ne retrouve pas l'effet de seuil observé autour de 50 Hz comme avec la bande morte classique.

**Bande morte** :
Intervalle utilisé volontairement pour « neutraliser » le réglage de la fréquence

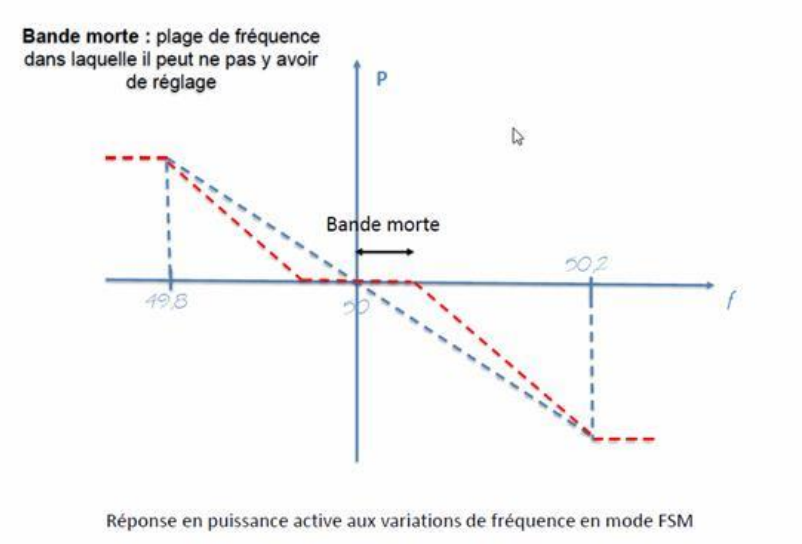



**Figure 2 : Bande morte**

**Type d'unité A, B, C, D :**

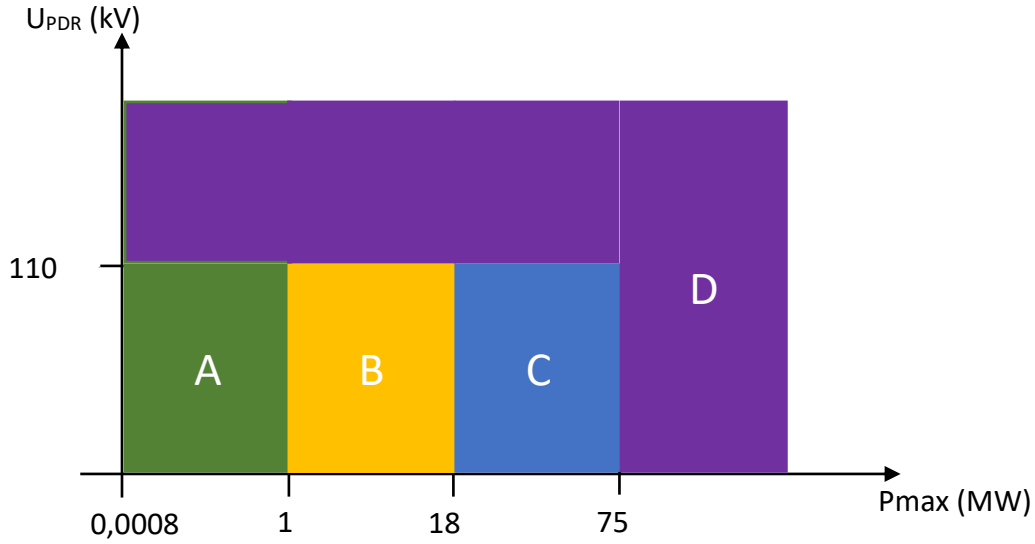



**Figure 2 : Classification des types d'unités synchrones**

Ce document concerne les unités synchrones de type B, C, D.

**Références :**

- Documentation Technique de Référence [3],
- Code RfG [1] art. 2 « Définitions », art. 5 « Détermination du caractère significatif »
- Arrêté [2], art. 35.

# 3. CAPACITES CONSTRUCTIVES DE L'UNITE DE PRODUCTION

## 3.1 Capacités constructives en réactif et réglage de la tension

### 3.1.1 Tension de dimensionnement Udim

***Condition d'application : Types B, C, D***

La tension de dimensionnement [$U_{dim}$] est la tension à prendre en compte pour la définition des dispositions constructives de fourniture et d'absorption de puissance réactive (et en particulier le choix de la prise nominale du transformateur principal). La tension Udim est définie dans les conditions particulières.

**Références :**

- Arrêté [2], art. 8
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.2.1 « Réglage de la tension et capacités constructives en puissance réactive ».

### 3.1.2 Transformateur principal

***Condition d'application : Types B, C, D***

Le type de régleur du transformateur principal est au choix du client.

- Si le Transformateur principal est équipé d'un régleur avec changement de prise hors tension :

  Le transformateur principal doit comporter [N] prises permettant de modifier le rapport de transformation entre primaire (côté réseau) et secondaire (côté groupe) et donc d'ajuster la tension à laquelle l'installation injecte l'énergie sur le réseau.

  Le nombre et la valeur de chaque prise sont définis dans les conditions particulières.

  La prise 0% correspond à la prise nominale.

- Si le transformateur principal est équipé d'un régleur avec changement de prise en charge :

  Le transformateur principal est équipé d'un dispositif de changement de prise en charge, permettant de modifier le rapport de transformation entre primaire (côté réseau) et secondaire (côté groupe/ générateur) avec, à minima, le respect du nombre [N] et de la valeur de chaque prise qui sont définis dans les conditions particulières.

**Références :**

- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.2.1 « Réglage de la tension et capacités constructives en puissance réactive ».
- Arrêté [2], art. 14.

### 3.1.3 Capacités en puissance réactive

***Condition d'application : Types B, C, D***

L'unité de production doit disposer d'une capacité de réglage de la puissance réactive qu'elle peut fournir ou absorber. Les capacités de fourniture et d'absorption de puissance réactive appliquées à l'unité de

production sont les suivantes (les points A, C, C', A' étant ceux définis dans la Documentation Technique de Référence [3]) :

1. Pour P = [Pmax_unité] et U = [$U_{dim}$] ; Q en Mvar doit pouvoir prendre toute valeur comprise dans l'intervalle [-0,35 [Pmax_unité] ; 0,32 [Pmax_unité]] défini par les points [C ; A].
2. Quelle que soit P fournie et pour U = 0,9 [$U_{dim}$] kV ; Q doit pouvoir être au moins égale à 0,3 Pmax_unité défini par le point B.
3. Quelle que soit P fournie et pour U = [$U_{dim}$]; Q doit pouvoir prendre toute valeur comprise dans l'intervalle [-0,28 [Pmax_unité] ; 0,30 [Pmax_unité]] défini par les points [C' ; A'].
4. Quelle que soit P fournie et pour toute valeur de U comprise entre [Umin] et [Umax]; l'unité doit pouvoir moduler sa fourniture et son absorption de puissance réactive dans les limites du domaine de fonctionnement de l'unité.

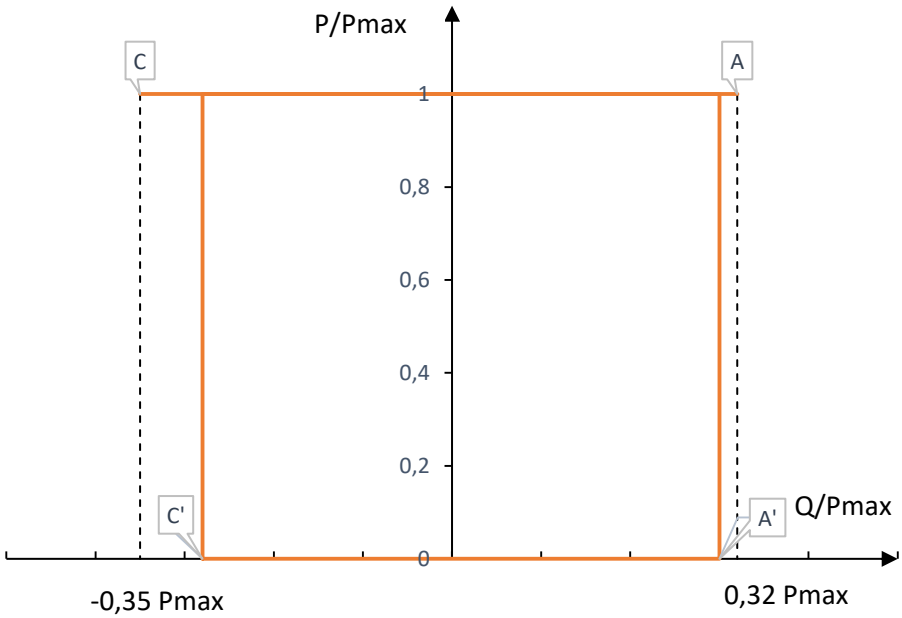



**Figure 3 : Diagramme P-Q /Pmax minimum d'une unité synchrone**

- Si le transformateur principal est équipé d'un régleur avec changement de prise hors tension :

Les points précédents doivent être atteints lorsque le transformateur principal est sur sa prise nominale.

- Si le transformateur principal est équipé d'un régleur avec changement de prise en charge :

Les points précédents peuvent être atteints pour différentes prises du transformateur principal.

Le producteur fournit à RTE les diagrammes [U, Q] de l'installation selon les spécifications de la fiche I1.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 17.2, article 18.2
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.2.1 « Réglage de la tension et capacités constructives en puissance réactive ».
- Arrêté [2], art. 41

### 3.1.4 Réglage primaire de tension

***Condition d'application : Types B, C, D***

L'unité de production participe au réglage primaire de tension. La loi de régulation, permettant d'asservir automatiquement la fourniture ou l'absorption de puissance réactive à la tension en un point de consigne est définie par RTE parmi l'une des lois décrites ci-après.

Le point de consigne et la loi de régulation applicable sont définis par RTE dans les conditions particulières.

$U_{PROD}$ $Q_{PROD}$ $P_{PROD}$ données remontées par le producteur et définies par RTE dans les conditions particulières.

#### 1.1.1.1

#### 3.1.4.1 Réglage de tension de type Facteur de puissance

Tangente $\varphi$ = constante

#### 3.1.4.2 Réglage de tension UPROD+λ.QPROD=Ucons dit « type 2 »

#### 1.1.1.2

Loi de réglage :

$$[U_{PROD}]+\lambda.[Q_{PROD}]=[U_{cons}]$$

Uprod : Tension prise en compte pour le réglage primaire de tension et dont le point de mesure est défini dans les conditions particulières par RTE

Qprod : Réactif mesuré pris en compte pour le réglage primaire de tension et dont le point de mesure est défini dans les conditions particulières par RTE

Ucons : Tension du point de consigne pris en compte pour le réglage primaire de tension et défini par RTE

Pour les simulations préalables à l'accès au réseau définitif, [$\lambda$] est fixé dans les conditions particulières.

Pour les essais préalables à l'accès au réseau définitif, [$\lambda$] est fixé en concertation avec le producteur dans la convention d'exploitation pour essais.

Pour l'exploitation définitive, [$\lambda$] est fixé en concertation avec le producteur dans la convention d'exploitation.

#### 3.1.4.3 Réglage de la tension stator

Le [point de consigne] est le stator de l'unité et la loi de réglage est : $U_{stator} = U_{consigne}$

$U_{PROD} = U_{stator}$

$Q_{PROD} = Q_{stator}$

$P_{PROD} = P_{stator}$

#### 3.1.4.4 Conditions liées au réglage primaire de tension

La régulation doit être possible sur la totalité du domaine couvert par le diagramme [U ; Q] de l'unité. Le cas échéant, si une partie du diagramme se situe en dehors du domaine normal de tension du point de raccordement, la zone correspondante doit être accessible au régulateur pour des durées limitées (cf. §3.4.2).

Le temps d'établissement de la grandeur asservie par le réglage de tension sur un échelon de consigne, à ±5 % de la différence entre la valeur finale et la valeur initiale centrée autour de sa valeur finale, doit être inférieur à 10 secondes.

L'écart statique entre la grandeur asservie injectée dans le régulateur de tension et la consigne du régulateur doit être au plus égal à 0,2 %.

Lorsque le réglage primaire de tension est de type 2 (§3.1.4.2) ou stator (§3.1.4.3), l'unité de production transmet via un Equipement de Téléconduite Locale (ETL) :

- la télémesure Ucons,
- les télésignalisations d'atteinte des limitations du régulateur primaire de tension (butées UQ+ et UQ-)

Lorsque l'unité de production est à l'arrêt ou ne participe pas au réglage primaire de tension la télémesure $U_{cons}$ est transmise invalide et les butées ne sont pas activées.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 19.2
- Arrêté [2], art. 42.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.2.1 « Réglage de la tension et capacités constructives en puissance réactive ».

### 3.1.5 Réglage secondaire de tension : asservissement du régulateur primaire de tension au RST

***Condition d'application : Type D (raccordée en HTB2 ou HTB3)***

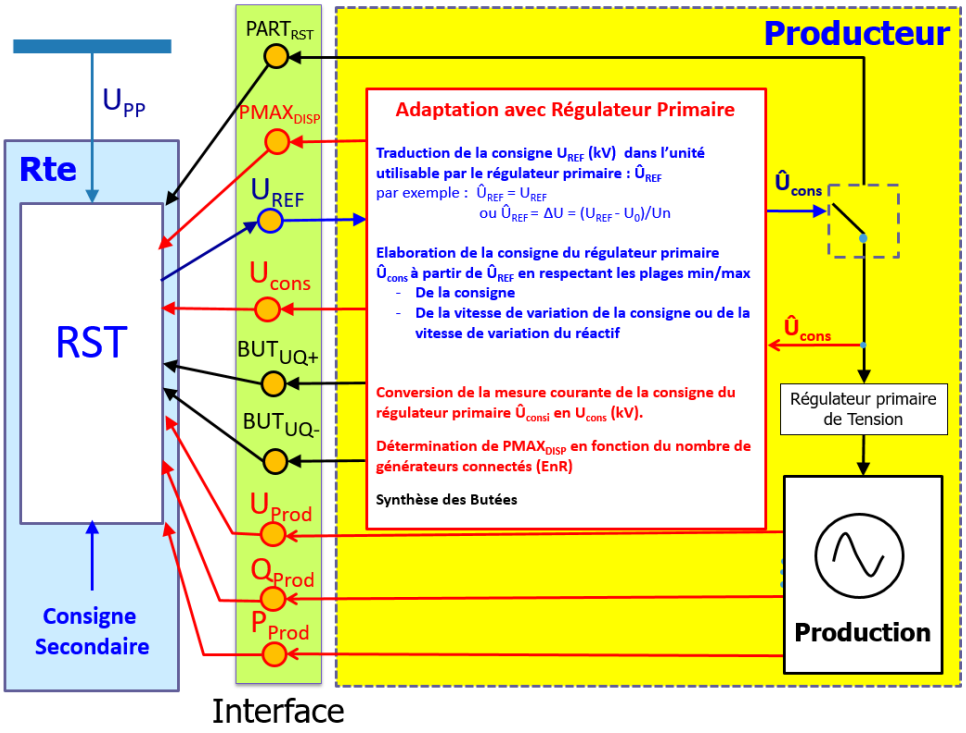
L'unité doit avoir des capacités constructives de participation au réglage secondaire de tension. Pour cela, l'unité doit avoir des capacités constructives lui permettant de recevoir une consigne $U_{ref}$, émise par le centre de conduite de RTE et d'élaborer à partir de $U_{ref}$ la consigne à appliquer au régulateur primaire de tension $U_{cons}$ (consigne du régulateur de tension au [point de consigne])

Afin de pouvoir assurer ce réglage, le dispositif mis en place sur l'unité de production, doit permettre, au régulateur primaire de tension au [point de consigne]:

- de fixer la tension de consigne $U_{cons}$ du régulateur primaire
- de sélectionner l'un des 2 modes de régulation : RST ou hors RST
- via un Equipement de Téléconduite Locale (ETL)
  - d'appliquer la commande $U_{ref}$ du centre de conduite régional RTE dans un délai ≤ 1s (délai maximal entre le moment où l'information arrive sur l'interface avec le producteur et le moment où elle est prise en compte par le régulateur primaire de tension du producteur).
  - d'acquérir simultanément les télémesures (TM) de l'unité de production réglant la tension au [point de consigne] (tension, puissance active et réactive, consigne appliquée au régulateur primaire), les TM étant obtenues à partir de mesures préalablement filtrées de façon à rejeter les fréquences supérieures à 0,05Hz.
  - d'acquérir les télésignalisations (TS) de l'unité de production réglant la tension au [point de consigne] et du mode de régulation (RST/hors RST), ainsi que les limitations du régulateur primaire de tension à la hausse (butée UQ+) ou à la baisse (butée UQ-).
  - de transmettre ces téléinformations (TM et TS) vers le centre de conduite RTE.

L'application de la consigne $U_{ref}$ au régulateur primaire de tension peut nécessiter un traitement préliminaire à réaliser par le producteur (voir Figure 4). En effet, selon les caractéristiques du régulateur primaire de tension, il peut être nécessaire de traduire la consigne $U_{ref}$ (kV) dans une unité utilisable par le régulateur primaire. De plus, il faut prendre en compte l'atteinte des limitations (plages min/max de variation de la consigne, vitesse maximale de variation de la consigne) pour élaborer à partir de $U_{ref}$, la consigne à appliquer au régulateur primaire de tension.

De la même manière, l'émission par le producteur des informations nécessaires à RTE (retour de la consigne de tension effectivement appliquée au régulateur primaire de tension, limitations) peut aussi nécessiter un traitement préalable.




$U_{ref}$ : consigne RST (kV) envoyée par RTE

$\bar{U}_{ref}$ : Uref traduit dans l'unité du régulateur de tension (kV, %)

$\bar{U}_{cons}$ : consigne élaborée à partir de Ūref, appliquée au régulateur primaire (kV, %)

$\bar{U}_{consi}$ : mesure de la consigne appliquée au régulateur primaire (kV, %)

$U_{cons}$ : Ūconsi exprimée en kV

BUT UQ + : TS d'atteinte de la limitation à la hausse (En/Hors)

BUT UQ - : TS d'atteinte de la limitation à la baisse (En/Hors)

PART $_{RST}$ : TS de participation au RST (EN/Hors)

$U_{Prod}$ : mesure de la tension selon la loi de réglage primaire

$P_{Prod}$ : Mesure de la puissance selon la loi de réglage primaire

$Q_{Prod}$ : Mesure de la puissance selon la loi de réglage primaire

NB : Pmax $_{DISP}$ n'est requis que pour les PPM

**Figure 4 : Schéma de téléconduite du RST**

Le réglage primaire de tension est toujours actif, que l'unité de production soit ou non en RST, et la télémesure $U_{cons}$ est toujours envoyée au système centralisé de RTE.

La valeur $U_{cons}$ transmise à RTE ne doit pas intégrer les signaux correcteurs issus des boucles stabilisatrices (PSS).

La valeur $U_{PROD}$ transmise à RTE doit être l'image de celle utilisée par le régulateur primaire de tension.

Lors du couplage de l'unité de production, la tension de consigne appliquée au régulateur primaire $U_{cons}$ doit être égale à la valeur de tension au [point de consigne] $U_{PROD}$.

Toute intervention du producteur sur la tension de consigne du régulateur primaire de l'unité de production doit faire sortir l'unité de production du RST et positionner la télésignalisation « PART.RST » à l'état « hors ». Au démarrage, le dispositif doit être en position hors RST.

Le producteur doit prévoir la possibilité d'une mise en service automatique ou manuelle du RST lors du couplage de l'unité de production. Pour l'exploitation définitive, le choix de mise en service du RST est fixé en concertation avec le producteur dans la convention d'exploitation.

La dernière valeur valide $U_{ref}$ reçue est appliquée sans limite de durée tant que le régulateur primaire de tension est asservi au RST. Avant la première réception de $U_{ref}$ émise par RTE, $U_{ref}$ doit être considérée comme invalide par le contrôle commande de l'installation.

#### 3.1.5.1 Limitation de la vitesse de variation de la consigne RST Uref

En cas d'écart important entre la consigne du régulateur primaire de tension $U_{cons}$ et celle émise par le RST ($U_{ref}$), l'écart doit être résorbé progressivement pour éviter une brusque variation du point de fonctionnement en limitant la variation à une valeur paramétrable exprimée en %[Un]/min, tout en limitant $U_{cons}$ à la plage normale de fonctionnement.

Les modalités de calcul de cette valeur sont déterminées en concertation entre le producteur et RTE pour tenir compte du schéma de réseau.

La valeur de la vitesse de variation maximale de la consigne $U_{cons}$ est déterminée de manière à pouvoir assurer une variation en réactif minimum de 12%Qn/min.

Lors d'une variation de la consigne $U_{ref}$ en rampe se traduisant par une variation de réactif de vitesse demandée supérieure ou égale à 12 % de Qn/min, la vitesse de variation du réactif effective doit être au moins égale à 12 % de Qn/min, conformément au paragraphe précédent.

#### 3.1.5.2 Atteinte des limites du domaine normal de fonctionnement de l'unité

L'atteinte des limites du domaine normal de fonctionnement de l'unité doit faire l'objet d'un envoi d'information au RST.

L'atteinte d'une limite du domaine normal de fonctionnement (tension maximale stator, tension minimale stator, courant maximal rotor, courant maximal stator, limite de sous-excitation, tension maximum des auxiliaires, $U_{consmin}$, $U_{consmax}$ …)[1] doit bloquer toute évolution de la valeur de tension de consigne du régulateur primaire de tension $U_{cons}$ qui tend à dépasser la limitation. La télésignalisation limitation correspondante, « butée UQ+ » en cas de blocage à la hausse et « butée UQ- » en cas de blocage à la baisse, est alors positionnée à l'état « En ».

Dès que le réglage primaire de tension est en mesure de respecter la consigne RST $U_{ref}$ sans dépasser la limitation, cette valeur de tension de consigne est à nouveau appliquée au régulateur primaire de tension. La télésignalisation limitation correspondante est alors positionnée à l'état «Hors».

Un mécanisme d'hystérésis et de temporisation permettra d'éviter les phénomènes de battements des signalisations d'atteinte des limites du domaine.

L'atteinte d'une limite de fonctionnement de l'unité ne doit pas entraîner la sortie du réglage secondaire de tension.

#### 3.1.5.3 Cas particulier où l'unité doit rester asservie au RST : perte de transmission de la consigne:

En cas de perte de transmission prolongée de la consigne RST $U_{ref}$, la consigne de tension appliquée sur le régulateur de tension ne doit pas changer, ce dernier doit donc conserver la dernière valeur de consigne valide jusqu'à la réception d'une nouvelle valeur de consigne $U_{ref}$.

Le non renouvellement d'une consigne $U_{ref}$ valide ne doit pas être considéré comme une anomalie de fonctionnement.

#### 3.1.5.4 Cas où l'unité doit sortir du RST : anomalies de fonctionnement de l'asservissement au RST

En cas de réception d'une valeur de consigne RST $U_{ref}$ invalide à l'interface entre RTE et le producteur, ou d'apparition d'un défaut ou de toute autre anomalie de fonctionnement du dispositif, le régulateur primaire de tension doit être automatiquement sorti du RST sans modifier sa consigne $U_{cons}$. La télésignalisation « PART.RST » doit alors être positionnée à l'état « Hors ».

Le producteur doit prévoir une remise en service du RST, après la disparition du défaut, automatique ou manuelle du RST. Pour l'exploitation définitive, les modalités de remise en service du RST seront fixées en concertation avec le producteur dans la convention d'exploitation. Dès que l'unité est remise en RST, la télésignalisation « PART.RST » passe donc à l'état « En ».

Un mécanisme d'hystérésis et de temporisation permettra d'éviter les phénomènes de battements des signalisations de participation au RST.

[1] L'atteinte de la limitation de vitesse de variation en Ucons ne rentre pas dans les critères d'émission d'une Télésignalisation de limitation

**Références :**

- Code RfG [1]: article 19.2
- Arrêté [2], art. 42
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.2.1 « Réglage de la tension et capacités constructives en puissance réactive ».

## 3.2 Réglage fréquence/puissance

La capacité constructive de participation au réglage de fréquence est définie en fonction de la puissance active maximale [$P_{max\ unité}$].

On définit le gain K de l'unité suivant la formule suivante :

$$K = \frac{Pmax\ unité}{fn}\frac{1}{\delta}$$

avec :

$f_n$ [Hz] = fréquence nominale (50 Hz)

K [MW/Hz] = gain de l'unité

$\delta$ [%] = statisme de l'unité

### 3.2.1 Mode de réglage restreint à la sur-fréquence (mode LFSM-O)

***Condition d'application : Types B, C, D***

En cas de hausse de la fréquence, l'unité doit pouvoir réduire sa puissance active injectée sur le réseau de façon à atteindre tout point de fonctionnement compris entre $P_{min\ unité}$ et [$P_{max\ unité}$].

L'unité doit donc disposer d'une capacité constructive de réglage restreint à la sur-fréquence (mode LFSM-O) caractérisée par :

- Un seuil d'activation,
- Une loi de réglage permettant de définir la réponse à la variation de fréquence à la hausse,
- Une dynamique temporelle (délai d'activation et temps de réponse).

Nota : l'implémentation de cette fonctionnalité sera adaptée aux contraintes hydrauliques afin de permettre de garantir la sécurité des personnes et des installations.

En mode LFSM-O, l'unité est capable de fonctionner de manière stable et aucune consigne antagoniste ne peut être envoyée.

L'unité doit être en mesure d'assurer le réglage restreint à la sur-fréquence en permanence.

Seuil d'activation et loi de réglage

Dans le cas d'une unité participant au réglage primaire de fréquence, le mode LFSM-O peut s'effectuer avec le même statisme (on parle alors de mode FSM prolongé à la baisse).
Le mode de fonctionnement retenu est à préciser dans la fiche E1.
L'unité conserve un statisme identique pour toute fréquence supérieure à 50 Hz.

Dans tous les autres cas :

- Seuil d'activation ($f_1$) :

  Le seuil doit être réglable entre 50,2 Hz et 50,5 Hz. Ce seuil est réglé par défaut à 50,2 Hz.

- Loi de réglage :

Le contrôle commande doit demander à l'unité de diminuer la puissance active le plus linéairement possible à partir de ce seuil $f_1$ avec un statisme $\delta_{LFSM}$ de 5% par défaut, sauf autre valeur convenue entre RTE et le client.

La loi de réglage doit être telle que pour tout échelon positif de fréquence $\Delta f = f - f_1$, l'unité doit être capable de réduire sa puissance, par rapport à $P_{max\ unité}$, de la valeur de $-K_{LFSM}.\Delta f$.
Dans ce cadre $K_{LFSM}$ correspond à un statisme $\delta_{LFSM}$ de 5%.

Une fois $P_{min\ unité}$ atteinte, l'unité continue à fonctionner à $P_{min\ unité}$ ou si l'unité autorise le statisme à agir sous $P_{min\ unité}$, l'unité de production peut continuer à réduire sa puissance (si l'unité ne passe pas en mode d'arrêt, car elle serait alors plus lente à redémarrer avec un possible effet sur la tension). Ce mode de fonctionnement doit être déclaré dans la fiche E1.

Lorsque la fréquence redescend vers 50 Hz, le contrôle commande doit demander à l'unité d'augmenter la puissance active pour revenir à sa puissance de consigne, hors réglage de fréquence, dans la limite de la disponibilité de l'énergie primaire ou des contraintes de sûreté d'exploitation, tant pour la puissance finale que pour la pente ».

Dynamique temporelle

Le délai d'activation $t_{a\ LFSM-O}$ doit être déclaré à RTE dans la fiche E1. Ce délai doit être aussi court que possible et ne doit pas être indument retardé par le producteur. Dans le cas où il est supérieur à 2s, les justifications techniques doivent être transmises à RTE.

La durée d'activation complète doit être aussi courte que possible. La pente utilisée pour la réduction de puissance devra être inférieure ou égale à la pente ramp $_{LFSM-O}$ déclarée dans la fiche E1.

Lorsque la fréquence redescend vers 50 Hz, l'augmentation de puissance doit également être réalisée aussi vite que possible. La pente devra être supérieure ou égale à la pente ramp $_{LFSM-O}$ déclarée dans la fiche E1.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 13.2
- Arrêté [2], art. 37
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.1 « Réglage Fréquence Puissance ».

### 3.2.2 Mode de réglage restreint à la sous-fréquence (mode LFSM-U)

***Condition d'application : Types C, D***

En cas de baisse de la fréquence, l'unité doit pouvoir augmenter sa puissance active de façon à atteindre tout point de fonctionnement compris entre $P_{min\ unité}$ et [$P_{max\ unité}$], dans la limite de la disponibilité de la source d'énergie primaire.

L'unité doit donc disposer d'une capacité constructive de réglage restreint à la sous-fréquence (mode LFSM-U) caractérisée par :

- Un seuil d'activation,
- Une loi de réglage permettant de définir la réponse à la variation de fréquence à la baisse,
- Une dynamique temporelle (délai d'activation et temps de réponse).

Nota : l'implémentation de cette fonctionnalité sera adaptée aux contraintes hydrauliques afin de permettre de garantir la sécurité des personnes et des installations.

En mode LFSM-U, l'unité est capable de fonctionner de manière stable et aucune consigne antagoniste ne peut être envoyée.

L'unité doit être en mesure d'assurer le réglage restreint à la sous-fréquence en permanence.

Seuil d'activation et loi de réglage

Dans le cas d'une unité participant au réglage primaire de fréquence le mode LFSM-U peut s'effectuer dans la continuité du mode FSM, appelé mode FSM prolongé à la hausse. Le mode de fonctionnement retenu est à préciser dans la fiche E1.
L'unité conserve un statisme identique pour toute fréquence inférieure à 50 Hz.

Dans tous les autres cas :

- Seuil d'activation ($f_2$) :

  Le seuil doit être réglable entre 49,8 Hz et 49,5 Hz. Ce seuil est réglé par défaut à 49,8 Hz.

- Loi de réglage :

  Le contrôle commande doit demander à l'unité d'augmenter la puissance active le plus linéairement possible à partir de ce seuil $f_2$ avec un statisme $\delta_{LFSM}$.

  La loi de réglage doit être telle que pour tout échelon négatif de fréquence $\Delta f = f - f_2$, l'unité doit être capable d'augmenter sa puissance, par rapport à $P_{min\ unité}$ ,de la valeur de $-K_{LFSM}.\Delta f$ , dans la limite de $[P_{max\ unité}]$ et compte tenu des conditions ambiantes, des conditions d'exploitation et de la disponibilité des sources d'énergie primaire.

  Dans ce cadre, $K_{LFSM}$ correspond à un statisme $\delta_{LFSM}$ de 5%.

  Lorsque la fréquence remonte vers 50 Hz, le contrôle commande doit demander à l'unité de baisser la puissance active selon la même pente $K_{LFSM}$, dans la limite de $P_{min\ unité}$.

Dynamique temporelle

Le délai d'activation $t_{a\ LFSM-U}$ doit être déclaré à RTE dans la fiche E1. Ce délai doit être aussi court que possible. Dans le cas où il est supérieur à 2s, les justifications techniques doivent être transmises à RTE.

La durée d'activation complète doit être aussi courte que possible. La pente utilisée pour la réduction de puissance devra être inférieure ou égale à la pente ramp $_{LFSM-U}$ déclarée dans la fiche E1.

Lorsque la fréquence remonte vers 50 Hz, la baisse de puissance doit également être réalisée aussi vite que possible. La pente devra être inférieure ou égale à la pente ramp $_{LFSM-U}$ déclarée dans la fiche E1.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 15.2 c
- Arrêté [2], art. 37
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.1 « Réglage Fréquence Puissance ».

### 3.2.3 Réglage primaire de fréquence (mode FSM)

***Condition d'application : Types C, D***

L'unité doit disposer d'une capacité constructive de réglage primaire (mode FSM) caractérisée par :

- Un volume de réserve de puissance active, dite « réserve primaire, $R_p$ » pouvant être mis à disposition de RTE à la hausse ou à la baisse,
- Une loi de réglage permettant de définir la fourniture effective de cette réserve en réponse à une variation de fréquence,
- Une dynamique temporelle (délai d'activation pour la mise à disposition de cette réserve, délai de maintien de fourniture de cette réserve).

Le fonctionnement en réglage primaire de fréquence doit être possible à partir de tout point de fonctionnement compris entre $P_{min\ unité}$ et $[P_{max\ unité}]$, y compris lors des pentes de variation.

*Nota : Le réglage de puissance active à la hausse est donc disponible lorsque le point de fonctionnement en puissance active P, est tel que Pmin unité < P < Pmax unité – RP (où RP désigne le volume de réserve de puissance nécessaire au réglage).*

*Le réglage de puissance active à la baisse est donc disponible lorsque le point de fonctionnement en puissance active P, est tel que Pmin unité + RP < P < Pmax unité (où RP désigne le volume de réserve de puissance nécessaire au réglage).*

Volume de réserve primaire ($R_p$)

- La réserve primaire $R_p$ de l'unité est au moins égale à $R_{p\ min}$ =2,5 % [$P_{max\ unité}$].
  $R_p$ est à préciser dans la fiche E1.
- Si l'unité a des capacités constructives en réglage secondaire de fréquence, elle doit être capable, avec le RSFP (Réglage Secondaire Fréquence-Puissance) hors service, de fonctionner à $RP_{max}$ « Réserve Primaire maximum » au moins égale à la somme de la réserve primaire $R_{p\ min}$ et de la demi-bande RSFP $pr_{min}$ : $RP_{max} \geq R_{P\ min} + pr_{min}$
  $RP_{max}$ est à préciser dans la fiche E1.

Loi de réglage (caractéristiques de la réponse à une variation de fréquence)

L'unité doit être équipée d'un régulateur primaire de fréquence assurant la loi de réglage suivante :

$$P - P_c = -K.(f - fn)$$

avec :

P [MW] = Puissance réelle fournie par l'unité en mode quasi stationnaire

$P_c$ [MW] = Puissance de consigne de l'unité à la fréquence de référence $f_n$

f [Hz] = Fréquence déduite de la mesure de vitesse de l'unité

$f_n$ [Hz] = Fréquence nominale (50 Hz)

K [MW/Hz] = Gain de l'unité

Le gain K de l'unité doit être réglable. Il ne peut être supérieur à $K_{max}$ = 66 % $P_{max\ unité}$/Hz (correspondant à un statisme $\delta$ égal à 3%), et ne peut être inférieur à $K_{min}$ =16,67 % $P_{max\ unité}$/Hz (correspondant à un statisme $\delta$ égal à 12%).

En exploitation, la valeur du gain K devra garantir la libération de la totalité de la réserve mise à disposition de RTE pour tout écart de fréquence d'amplitude ≥ 200 mHz.

Une bande morte volontaire peut-être définie dans la régulation de fréquence, à condition de pouvoir être réglable, et notamment mise à 0 (inactive) dans le cas où l'unité participe au réglage primaire de fréquence. La bande morte ainsi définie permet, pour une unité qui ne participe pas aux services systèmes de ne pas être sollicitée. Cette bande morte ne doit pas impacter la capacité de l'unité à réaliser du LFSM (ne peut donc être supérieure au min de la valeur absolue des seuils d'activation des LFSM-O et U réglés par défaut à 200mHz (cf. § 3.2.1 et 3.2.2)).

Dynamique temporelle

Pour toute variation de fréquence $\Delta f = f - f_n$ comprise entre 0 et +/- 200 mHz à partir de 50 Hz, l'activation de la réponse de l'unité ne doit pas être indûment retardée : un délai d'activation (t1) supérieur à 2s devra être justifié par des éléments techniques. t1 est à préciser dans la fiche E1.

Pour tout échelon de fréquence $\Delta f = f - f_n$ compris entre 0 et +/-200 mHz à partir de 50 Hz, l'unité de production doit être capable d'activer la réponse en puissance active sur ou au-dessus de la ligne pleine de la courbe [Figure 5], notamment la totalité de la réserve de puissance attendue en moins de 30 s (t2).

La réserve de puissance attendue ($\Delta P1$) est égale à la plus petite des deux valeurs suivantes :

- la réserve primaire $R_p$ définie ci-dessus,
- le gain K multiplié par la valeur de l'échelon de fréquence, soit $-K.\Delta f$.

Cette réserve de puissance doit pouvoir être délivrée pendant au moins 15 minutes (t3).

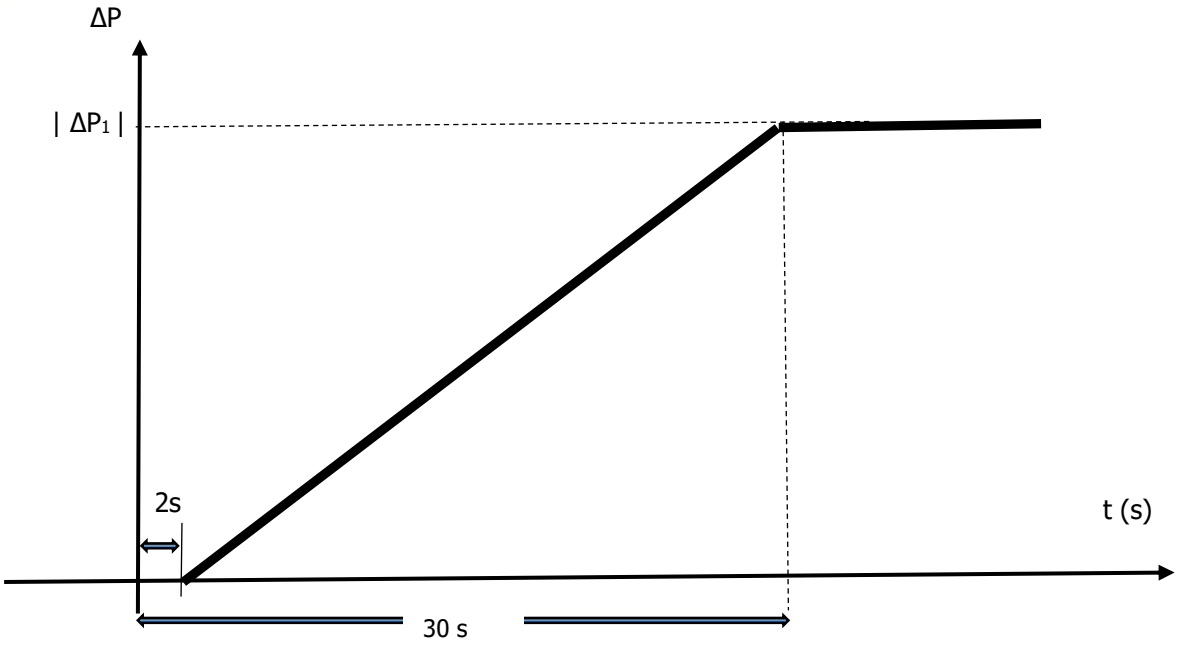



**Figure 5 : Capacités de réponse en puissance active aux variations de fréquence**

Dans le cas d'un CCG, quelle que soit la version des essais 1 et 3 de la fiche F4 choisie par le producteur pour établir la conformité de l'unité, la dynamique de fourniture de la réserve primaire décrite ci-dessus doit être garantie en exploitation dans des conditions de fonctionnement conformes aux résultats des essais, quel que soit le programme de marche choisi par le producteur. En exploitation, RTE procédera au contrôle du respect de cette obligation selon les modalités définies dans la convention de raccordement, tout écart étant traité au titre des non-conformités.

Pour toute variation de fréquence supérieure à 200mHz ou inférieure à -200mHz (modes LFSM-O et LFSM-U), le comportement attendu est défini aux § 3.2.1 et §3.2.2.

La résolution de la mesure doit être inférieure ou égale à 1 mHz, la précision de mesure de la fréquence doit être la meilleure possible et dans tous les cas inférieure à 10 mHz, et l'insensibilité de la régulation primaire de la fréquence doit être inférieure à ±10 mHz. L'insensibilité maximale est à préciser dans la fiche E1.

#### 3.2.3.1 Suivi en temps réel du mode FSM

La mise en œuvre du mode FSM doit être transmise à RTE par l'émission d'une télésignalisation. Lorsqu'une unité n'est pas en état de contribuer au réglage primaire fréquence-puissance (unité non couplée, unité îlotée, défaut affectant la turbine ou le régulateur de vitesse, problème amont-turbine…), la télésignalisation doit alors être positionnée à l'état « PART.FSM HS ». La remise en service du mode FSM est accompagnée de l'émission de la télésignalisation « PART.FSM ES ».

Les télémesures suivantes doivent également être transmises à RTE :
- Puissance réelle fournie par l'unité en mode quasi stationnaire
- Puissance de consigne de l'unité à la fréquence de référence fn
- Fréquence déduite de la mesure de vitesse de l'unité
- Gain K de l'unité

Cf. paragraphe 3.11 pour la classe de précision des capteurs de mesure.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 15.2.d
- Arrêté [2], art. 38.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.1 « Réglage Fréquence Puissance ».

### 3.2.4 Réglage secondaire fréquence puissance (RSFP)

***Condition d'application : Type D (raccordée en HTB2 ou HTB3)***

L'unité doit disposer de capacités constructives de réglage secondaire de fréquence.

L'unité doit pouvoir mettre à la disposition de RTE une réserve de puissance active, dite « demi-bande de réglage secondaire », pr, au moins égale à $pr_{min}$ = 4,5 % de [$P_{max\ unité}$].

La demi-bande de réglage secondaire pr doit s'additionner à la réserve primaire $R_p$ pour constituer une réserve totale, à la hausse, supérieure ou égale à 7 % de [$P_{max\ unité}$].

L'unité de production doit posséder un équipement permettant de recevoir de la part de RTE le niveau $N_{RSFP,}$ propre à l'unité, et de modifier la puissance de consigne à la fréquence de référence $P_c$ de l'unité, de la façon suivante :

$$P_c = P_{c0} + N_{RSFP} \cdot pr$$

avec,

$P_{c0}$ [MW] = puissance de consigne à $f_n$ avec $N_{RSFP}$ = 0 de l'unité de production (généralement la puissance de consigne affichée sur le régulateur de vitesse et commandable manuellement par l'exploitant de l'unité),

$N_{RSFP}$ [nombre sans dimension, compris entre –1 et +1]

pr [MW] = participation de l'unité au réglage secondaire fréquence – puissance.

Compte tenu du réglage primaire fréquence-puissance, la loi de réglage de l'unité de production participant au réglage secondaire fréquence - puissance est la suivante :

$$P = P_{c0} + N_{RSFP}.pr - K.(f - fn)$$

Si la fonction RSFP est inactive, le réglage primaire fréquence-puissance doit pouvoir rester actif.

Cette réserve de puissance doit pouvoir être délivrée pendant une durée supérieure ou égale à 30 minutes (t4).

#### 3.2.4.1 Performances de la fonction RSFP

Le fonctionnement en RSFP doit être possible à partir de tout point de fonctionnement compris entre $P_{min\ unité}$ et [$P_{max\ unité}$] y compris lors des pentes de variation.

L'équipement installé sur chaque unité doit surveiller la pente de variation du niveau $N_{RSFP}$ et réagir selon les 2 cas suivants :

- si la vitesse de variation du niveau N est inférieure ou égale à 2 pr en 133 secondes le niveau reçu est appliqué tel quel,
- si la vitesse de variation du niveau N est supérieure à 2 pr en 133 secondes : le niveau appliqué est bloqué à la valeur courante tant que la pente du niveau reçu ne revient pas à une valeur inférieure.

Dynamique temporelle

Lors d'une variation du niveau $N_{RSFP}$ en rampe de pente inférieure ou égale à 2/600 $s^{-1}$, la différence entre la puissance produite P et la puissance de consigne $P_c$ doit être inférieure ou égale à $dN_{RSFP}/dt.pr.T_{eq}$, avec $T_{eq}$ = 20 s.

$$P - P_c \leq \frac{dN_{RSFP}}{dt} \cdot pr \cdot T_{eq}$$

Lors d'une variation du niveau $N_{RSFP}$ en rampe de pente inférieure ou égale à 2/133 $s^{-1}$ et supérieure ou égale à 2/600 $s^{-1}$, la dynamique devrait autant que possible se rapprocher de la dynamique décrite ci-dessus. Ainsi, une telle pente ne doit pas être considérée comme aberrante, et l'unité réagir au mieux de ses capacités.

La participation au RSFP (pr) doit être introduite au niveau du contrôle – commande avec une résolution inférieure ou égale à 1 MW.

#### 3.2.4.2Anomalie de fonctionnement et disponibilité de la fonction RSFP

En cas de perte du signal de niveau $N_{RSFP}$, l'unité doit rester en fonctionnement RSFP avec recopie du niveau figé à sa dernière valeur valide. Le blocage de l'application du niveau $N_{RSFP}$ doit être signalé à l'opérateur de l'installation.

La mise en œuvre de la fonction RSFP doit être transmise à RTE par l'émission d'une télésignalisation. Lorsqu'une unité n'est pas en état de contribuer au réglage secondaire fréquence-puissance (unité non couplée, unité îlotée, téléréglage RSFP hors service, défaut de transmission du niveau $N_{RSFP}$, défaut affectant la turbine ou le régulateur de vitesse, défaut affectant l'équipement RSFP, fonctionnement en mode manuel), l'application du niveau $N_{RSFP}$ est bloquée et l'unité est sortie du RSFP. La télésignalisation « RSFP » doit alors être positionnée à l'état « RSFP HS ». La remise en service de la fonction RSFP se fait exclusivement par action manuelle d'un opérateur de l'unité et est accompagnée de l'émission de la télésignalisation « RSFP ES ».

**Références :**

- Code RfG [1]: article 15.2.e
- Arrêté [2], art. 38
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.1 « Réglage Fréquence Puissance ».

## 3.3 Comportement de l'unité de production pour la résolution des contraintes de transit

***Conditions d'applications : Types B, C, D auxquelles RTE a indiqué des limitations dans la Proposition Technique et Financière (PTF)***

L'étude de raccordement montre que l'unité de production génère, dans certaines situations d'exploitation des contraintes de transit sur le réseau existant de la zone de raccordement.

Les surcharges générées par l'unité de production doivent être éliminées en un temps < [T limitation ], ce qui nécessite, en cas d'occurrence, la baisse de puissance active de l'unité voire sa séparation du réseau.

Après demande du centre de conduite régional, devront pouvoir être mises en œuvre en moins de [T limitation]:

- La baisse de puissance active de l'unité de production depuis [$P_{max\ unité}$] jusqu'à $P_{min\ unité}$ (ou une valeur intermédiaire $P_{limitation}$),

ou

- la séparation du réseau,

Cette demande se fait par téléphone ou par le système de transmission d'ordres à exécution rapide.

A défaut, l'injection de l'unité de production sera effacée par fonctionnement d'un automatisme. Dans ce cas, l'unité de production devra pouvoir se séparer du réseau sur réception d'un signal envoyé par un automate RTE. Des spécifications plus précises seront transmises ultérieurement par RTE dans le cadre de la convention de raccordement.

## 3.4 Comportement de l'unité lors des régimes exceptionnels

### 3.4.1 Conditions de découplage de l'unité lors des régimes exceptionnels

***Conditions d'applications : Types B, C, D***

Le producteur doit convenir avec RTE de la nature et du réglage des protections de découplage qui figurent dans la fiche E1 du dossier technique de l'unité.

### 3.4.2 Régimes exceptionnels en tension

***Conditions d'applications : Types B, C, D, en fonction de la tension du point de raccordement***

L'unité doit fonctionner lorsque la tension au point de raccordement se situe dans les plages de tension définies ci-après :

*400kV*

**Pour le niveau 400 kV 1 pu =400 kV**

| | Plage de tension en pu (base 400kV) | Temps de fonctionnement |
|---|---|---|
| plage exceptionnelle basse | [0.85 pu-0.90pu[ | 60 minutes |
| Plage normale | [0.9 pu-1.05 pu] | Illimité<br>*Conditions d'applications : 0,9 Udim > 0,9 pu*<br>Si U est compris entre [0,9 pu; 0,9 Udim[,l'unité doit pourvoir fournir du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie.<br>*Conditions d'applications : 1,1 Udim < 1,05 pu*<br>Si U est compris entre ]1,1 Udim ;1,05 pu], l'unité doit alors pouvoir absorber du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage exceptionnelle haute | ]1.05pu-1.10pu] | 20 minutes |

*150kV et 225 kV*

**Pour le niveau 225 kV 1 pu =220 kV**
**Pour le niveau 150 kV 1 pu =150 kV**

| | Plage de tension en pu (base 150kV et 220 kV) | Temps de fonctionnement |
|---|---|---|
| plage exceptionnelle basse | [0.85 pu-0.90pu[ | 60 minutes |
| Plage normale | [0.9 pu-1.118 pu] | Illimité<br>*Conditions d'applications : 0,9 Udim > 0,9 pu*<br>Si U est compris entre [0,9 pu; 0,9 Udim[,l'unité doit pourvoir fournir du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie.<br>*Conditions d'applications : 1,1 Udim < 1,118 pu* |

| | | |
|---|---|---|
| | | Si U est compris entre ]1,1 Udim ;1,118 pu], l'unité doit alors pouvoir absorber du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage exceptionnelle haute | ]1.118pu-1.15pu] | 20 minutes |

*90kV*

**Pour le niveau 90 kV 1 pu =90 kV**

| | Plage de tension en pu | Durée minimale de fonctionnement |
|---|---|---|
| Plage exceptionnelle basse | [0.8 pu-0.85 pu[ | L'unité doit rester connectée au réseau le plus longtemps possible, quitte à réduire sa puissance active. L'unité ne doit pas déclencher sur critère de tension. |
| | *[0.85 pu-0.87 pu[* | 90 minutes<br>L'unité doit alors pouvoir fournir une puissance réactive jusqu'à 0,3 [Pmax unité], quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage normale | *[0.87 pu – 1.11 pu]* | Illimité<br>*Conditions d'applications : 0,9 Udim > 0,87 pu*<br>Si U est compris entre [0,87 pu; 0,9 Udim[,l'unité doit pourvoir fournir du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie.<br>*Conditions d'applications : 1,1 Udim < 1,11 pu*<br>Si U est compris entre ]1,1 Udim ;1,11 pu], l'unité doit alors pouvoir absorber du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage exceptionnelle haute | *]1,11 pu -1.133 pu]* | Limitée<br>5 min lorsque U=1.133 pu. La puissance peut alors être réduite jusqu'à 0,95 [Pmax unité]. La puissance réactive doit être modulable dans les limites du diagramme [U, Q]. |

*63kV*

**Pour le niveau 63 kV 1 pu =63 kV**

| | Plage de tension en pu | Conditions de fonctionnement |
|---|---|---|
| Plage exceptionnelle basse | [0.8 pu-0.85 pu[ | L'unité doit rester connectée au réseau le plus longtemps possible, quitte à réduire sa puissance active. |

| | | |
|---|---|---|
| | | L'unité ne doit pas déclencher sur critère de tension. |
| | *[0.85 pu-0.87 pu[* | 90 minutes<br>L'unité doit alors pouvoir fournir une puissance réactive jusqu'à 0,3 Pmax unité, quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage normale | *[0.87 pu – 1.14 pu]* | Illimité<br>*Conditions d'applications : 0,9 Udim > 0,87 pu*<br>Si U est compris entre [0,87 pu; 0,9 Udim[,l'unité doit pourvoir fournir du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie.<br>*Conditions d'applications : 1,1 Udim < 1,14 pu*<br>Si U est compris entre ]1,1 Udim ;1,14 pu], l'unité doit alors pouvoir absorber du réactif dans les limites du diagramme [U,Q], quelle que soit la puissance active fournie. |
| Plage exceptionnelle haute | *]1,14 pu -1.174 pu]* | Limitée<br>5 min lorsque U=1.174 pu. La puissance peut alors être réduite jusqu'à 0,95 Pmax unité. La puissance réactive doit être modulable dans les limites du diagramme [U, Q]. |

**Références :**

- Code RfG [1]: article 16.2
- Arrêté [2], art. 44 et 52.

### 3.4.3 Régimes exceptionnels en fréquence

***Conditions d'applications : Types B, C, D***

Pour l'application de cette exigence, la tension au point de raccordement est réputée comprise à l'intérieur de la plage normale de variation.

L'unité doit être capable de fonctionner sans se déconnecter du réseau dans les plages exceptionnelles de fréquence, dans les conditions de durée définies ci-après :

| Plage | Durée minimale de fonctionnement |
|---|---|
| [47,5 Hz ; 48,5 Hz[ | 30 min |
| [48,5 Hz ; 49 Hz[ | 30 min |
| [49 Hz ; 51 Hz] | Illimité |
| ]51 Hz ; 51,5 Hz] | 30 min |

En application des paragraphes (a)(ii) et (a)(iii) de l'article 13 du code RfG, la durée minimale de fonctionnement lorsque la fréquence est supérieure à 51,5 Hz et la durée minimale de fonctionnement lorsque la fréquence est inférieure à 47,5 Hz sont convenues entre le gestionnaire de réseau compétent et le propriétaire de l'unité de production, en tenant compte de la capacité technique de l'unité de production.

Pour les unités synchrones dans l'incapacité technique de maintenir leur puissance à [Pmax_unité] en cas de baisse de fréquence (le producteur apportera des éléments techniques), une baisse de puissance active limitée est autorisée telle que :

- Régime permanent :

  Si la fréquence reste inférieure à 49,5 Hz pendant plus de 30s, lorsque les capacités techniques de l'unité ne lui permettent pas de maintenir sa puissance active à sa valeur maximale admissible en cas de baisse de fréquence en dessous de flim (avec flim = 49,5 Hz, dépendant de l'unité), la réduction de puissance active est admise selon le taux suivant : t = 10% [Pmax_unité]/Hz).

- Régime transitoire :

  Si la fréquence reste inférieure à 49,5 Hz pendant moins de 30s, la puissance doit être maintenue (i.e le temps de retour à la puissance de consigne doit être < ta LFSM-U (en référence au temps d'activation du FSM ou LFSM). En revanche, pendant cette phase transitoire, si le seuil de 49 Hz est franchi, la réduction de puissance active est admise selon le taux suivant : t = 2% [Pmax_unité]/Hz.

Pour les unités dont le comportement dépend de la température ambiante, telles que les CCG ou autres unités relevant de la technologie des turbines à combustion, la conformité n'est pas attendue pour toutes les températures, les courbes seront transmises pour différentes températures au gestionnaire de réseau.

**Références**

- Code RfG [1]: article 13.1, 13.3, 13.4 et 13.5
- Arrêté [2], art. 36 et 39.

### 3.4.4 Ecarts combinés Fréquence/Tension

***Condition d'application : Type B, C, D***

En cas de simultanéité des valeurs exceptionnelles de la fréquence sur le réseau public de transport d'électricité et de la tension au point de raccordement de l'unité de production, la durée de fonctionnement requise est la plus courte de celles admises pour ces deux situations (cf § 3.4.2 et 3.4.3).

***Condition d'application : Type D dont le transformateur principal est muni d'un régleur hors tension***

Toutefois, lorsque la tension au point de raccordement se situe dans la plage exceptionnelle haute, l'unité, dont le transformateur principal est muni d'un régleur de prise hors tension, n'est soumise à ces dispositions que tant que le rapport $(U/Un)/(f/f_n)$ reste inférieur à 1,13, où « U » désigne la tension constatée au point de raccordement, « Un » est la tension nominale, « f » la fréquence constatée sur le réseau public de transport d'électricité et « $f_n$ » la fréquence nominale du réseau public de transport d'électricité, 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'unité en est équipée.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 16.2
- Arrêté [2], art. 45.

- Documentation Technique de Référence [3]

### 3.4.5 Comportement de l'unité de production en réseau séparé

***Condition d'application : Types C, D***

Sur apparition d'un réseau séparé dans sa zone, l'unité de production doit être capable de fonctionner dans les limites définies ci-dessus (aux paragraphes §3.4.2, §3.4.3 §3.4.4).

La méthode de détection du réseau séparé sera convenue entre le producteur et le gestionnaire de réseau, elle ne s'appuiera pas uniquement sur les signaux de position de l'organe de coupure du gestionnaire de réseau.

*Nota : il peut par exemple s'agir d'un message envoyé par RTE (« Réseau séparé » ou « Incident généralisé » par exemple) avec une mise en œuvre en moins de 20 minutes, ou d'une détection sur critères automatiques (critères df/dt>1,5 Hz/s, ΔP>10%, sortie de la plage de fréquence 49-51 Hz pendant 180 s par exemple, ou une combinaison de ces critères).*

Les performances attendues sont les suivantes :

- L'unité de production doit être capable de fonctionner en mode LFSM-O et LFSM-U lors du fonctionnement en réseau séparé.
- L'unité de production doit être capable de fonctionner en mode FSM lors du fonctionnement en réseau séparé (y compris si l'installation ne participe pas à la constitution des réserves au moment de l'incident) au maximum des capacités contractualisées en termes de gain, à la hausse comme à la baisse.

Et le cas échéant :

- La mise en œuvre des paramètres spécifiques « réseau séparé » de la régulation de vitesse, s'ils existent, doit être effectuée
- La mise hors service des boucles stabilisatrices du régulateur de tension utilisant par exemple la puissance ou la fréquence, si elles existent, doit être effectuée

***Condition d'application : Type D sur demande RTE***

- L'unité doit pouvoir assurer le rôle de "pilote de la fréquence" pour conserver l'équilibre global entre la production et la consommation en restant dans un domaine de fréquence acceptable par exemple entre 49,8 et 50,2 Hz. Pour cela, tant qu'elle dispose de la réserve de puissance active suffisante, l'unité doit pouvoir, par modifications successives de sa consigne de puissance, assurer le maintien de la fréquence du réseau séparé au voisinage de la valeur objectif fixée par RTE. La précision de la mesure de fréquence doit être de 0,02 Hz a minima.

**Références :**

- Code RfG [1] art 15.5
- arrêté [2], art. 51.
- Documentation Technique de Référence

### 3.4.6 Couplage rapide après découplage fortuit sur aléa réseau

***Condition d'application : Type B***

L'unité de production doit être conçue de telle sorte qu'en cas de déconnexion fortuite du réseau public de transport d'électricité suite à l'apparition d'un phénomène affectant ce réseau elle puisse se reconnecter dans le meilleur délai au réseau à la demande de RTE dès que ce phénomène a cessé. Ce délai est transmis par le producteur dans la fiche E1. Il est consigné dans la convention d'exploitation.

***Condition d'application : Types C, D***

L'unité de production doit être conçue de telle sorte qu'en cas de déconnexion fortuite du réseau public de transport d'électricité suite à l'apparition d'un phénomène affectant ce réseau elle puisse se

reconnecter dans le meilleur délai au réseau à la demande de RTE dès que ce phénomène a cessé. Ce délai est consigné dans le dossier technique de l'unité (fiche E1 du présent CdC) et doit être inférieur à 15 min.
A défaut de respecter ce délai maximal de 15 min, l'unité de production doit être conçue de telle sorte qu'en cas de déconnexion fortuite du réseau public de transport d'électricité suite à l'apparition d'un phénomène affectant ce réseau elle puisse s'ilôter afin de se reconnecter sans délai au réseau à la demande de RTE dès que ce phénomène a cessé.

RTE requiert le repli en situation de disponibilité dans les cas suivants de découplage de l'unité :

- Tension basse,
- Fréquence haute (autre que sur-vitesse),
- Fréquence basse,
- Rupture de synchronisme (nombre d'inversions de puissance),
- Protection homopolaire du transformateur principal (ou maximum de courant de neutre)
- Protection de déséquilibre (alternateur ou auxiliaire)

Les critères de repli en situation de disponibilité doivent être cohérents :

- Avec les plages de fonctionnement exceptionnel et les durées minimales de fonctionnement définies dans le §3.4.3, pour les cas de fonctionnement des protections de tension basse, fréquence haute, fréquence basse,
- Avec les critères de découplage définis dans le §3.6.5 pour le cas de fonctionnement des protections contre les ruptures de synchronisme,
- Avec les critères de découplage définis dans le cahier des charges du système de protection contre les défauts d'isolement remis pas RTE pour le cas de fonctionnement de la protection homopolaire du transformateur principal et de la protection de déséquilibre.

Les critères conduisant au déclenchement de l'unité dans ces mêmes cas de découplage doivent être sélectifs par rapport aux critères de repli en situation de disponibilité. Dans tous les cas, sur fonctionnement des protections d'exploitation, la fonction de repli en situation de disponibilité doit être privilégiée (tenue de l'unité et de ses auxiliaires) sur le déclenchement.

RTE demande que l'installation puisse tenir en situation de repli en état de disponibilité pendant au moins :

- 4 heures (thermique à flamme),
- 2 heures (autres technologies).

***Condition d'application : Types B, C, D***

Si l'unité dispose d'une fonctionnalité de reconnexion automatique dès le retour de la tension sur son poste de raccordement au RPT, cette fonctionnalité doit pouvoir être inhibée sur ordre de RTE, et doit être suspendue automatiquement si la tension au poste de raccordement est absente pendant plus de 3 minutes.

**Références :**

- Code RfG [1] art 14.4 art 15.5.c
- arrêté [2], art. 50.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.5 « Reconstitution du Réseau – Renvoi de tension ».

## 3.5 Participation à la reconstitution du réseau

### 3.5.1 Non perturbation de la reprise de service

***Conditions d'applications : application décidée par RTE suivant le plan à manque tension***

L'unité de production ne doit pas perturber la reprise de service suite à un manque de tension généralisé sur le RPT.

Si l'installation est raccordée au RPT à un niveau de tension en deçà de 400kV, avec une liaison à un seul disjoncteur ou en piquage sur une liaison RTE, le producteur doit installer sur le départ de l'installation un automate à manque de tension (AMU) qui, sur un manque de tension ($U_{PDR}$ < 20 % Un) à partir d'un délai programmable, et réglé par défaut à 3 minutes, fasse ouvrir le disjoncteur HTB de l'installation. Un dispositif lié de refermeture automatique en cas de retour de la tension associé à un temps de veille configurable devra être prévu. **Ce dernier dispositif sera par défaut inhibé**.

La reprise de service se fera sur ordre du dispatching suivant des modalités définies dans la convention d'exploitation.

### 3.5.2 Reconstitution du réseau

***Conditions d'applications : Types C ou D et participant à la reconstitution de réseau***

L'unité doit disposer des capacités constructives suivantes pour participer à la reconstitution de réseau après incident :

- Après réception de la part de RTE du message « Incident généralisé » ou « Réseau séparé », et que l'unité n'est pas couplée au réseau, elle doit être capable d'émettre une information synthétique, sous forme de télésignalisation (« TS1 : disponible pour les besoins du réseau »), envoyée à RTE pour l'avertir qu'il est dans des conditions techniques lui permettant de participer à la reconstitution du réseau (typiquement en situation d'îlotage réussi et stabilisé) ;
- Renvoi de tension depuis groupe ilôté ou depuis groupe capable de démarrer de manière autonome (black start)
- A la demande de RTE, l'unité doit pouvoir assurer le rôle de "pilote de la fréquence" pour conserver l'équilibre global entre la production et la consommation en restant dans un domaine de fréquence acceptable par exemple entre 49,8 et 50,2 Hz. Pour cela, tant qu'elle dispose de la réserve de puissance active suffisante, l'unité doit pouvoir, par modifications successives de sa consigne de puissance, assurer le maintien de la fréquence du réseau séparé au voisinage de la valeur objectif fixée par RTE. La précision de la mesure de fréquence doit être de 0,02 Hz a minima.
- L'unité doit conserver un fonctionnement stable sans oscillations de fréquence entretenues. Pour cela, elle dispose d'un régulateur de vitesse apte à assurer le fonctionnement stable d'un réseau séparé de caractéristiques notablement éloignées de celles du RPT, en termes d'inertie de réseau, de puissance de court-circuit, de stabilité en tension et en fréquence, en mettant en œuvre des paramètres de régulation de vitesse spécifiques dans le cas où les performances standards ne seraient pas suffisantes, selon les critères définis dans la fiche de simulation « Réseau séparé ».
- Etre capable de fonctionner à des niveaux de puissance peu élevés, inférieurs ou égaux à 15% de Pmax_unité, et s'y maintenir

Dès lors que l'unité de production est recouplée sur un réseau et que les messages « Incident généralisé » ou « Réseau séparé » restent actifs, les performances décrites au §3.4.5« Comportement de l'unité en réseau séparé » s'appliquent.

**Références :**

- RfG [1], art. 15.5.
- arrêté [2], art. 51.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.5 « Reconstitution du Réseau – Renvoi de tension ».

## 3.6 Stabilité

Le producteur doit communiquer à RTE les résultats d'études concernant la stabilité de son installation.

Ces études sont des études génériques effectuées pour chaque unité de production, à l'aide de schémas de réseau simplifiés standards où l'unité de production est mise en antenne sur un réseau de tension et fréquence constantes (réseau dit « infini ») au travers de son transformateur et de réactances de liaison. Ces réactances sont paramétrées en fonction de deux valeurs « a » et « b » standards.

***Condition d'application : Types B, C, D raccordés en HTB1***

- ***Si Pmax_unité < 50 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.2 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
- ***Si Pmax_unité ≥ 50 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.3 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$

***Condition d'application : Type D raccordé en HTB2***

- ***Si Pmax_unité < 250 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.3 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
- ***Si Pmax_unité ≥ 250 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.54 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$

***Condition d'application : Type D raccordé en HTB3***

- ***Si Pmax_unité < 800 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.54 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
- ***Si Pmax_unité ≥ 800 MW***
  - « a » = 0,05 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$
  - « b » = 0.6 p.u. base [$U_{dim}$], $S_n$

### 3.6.1 Stabilité en petits mouvements

***Condition d'application : Types B, C, D***

L'étude de stabilité en petits mouvements est réalisée à l'aide d'un schéma de réseau simplifié où l'unité de production est mise 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 $X_{cc}$ = « a » et $X_{cc}$ = « b ».

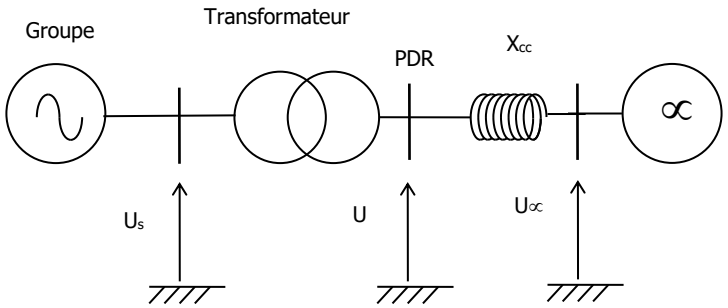



**Figure 6 : Schéma de réseau simplifié Stabilité en petits mouvements**

### 3.6.2 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 le point de fonctionnement P = [$P_{max\ unité}$], Q = 0 et U = [$U_{dim}$] ainsi que pour les trois points de fonctionnement suivants :

A : P = [$P_{max\ unité}$], Q = 0,32[$P_{max\ unité}$] et U = [$U_{dim}$]

B : P = [$P_{max\ unité}$], Q = 0,3[$P_{max\ unité}$] et U = 0,9[$U_{dim}$]

C : P = [$P_{max\ unité}$], Q = -0,35[$P_{max\ unité}$] et U = [$U_{dim}$]

La valeur de la tension du réseau infini $U_{\infty}$ doit rester dans les limites du régime exceptionnel. Au besoin, la puissance réactive de l'unité de production peut être modifiée pour respecter cette contrainte.

La régulation d'excitation de l'unité de production ou, dans le cas où la régulation de tension est de type [UPROD]+λ.[QPROD]=$U_{cons}$, la régulation de tension de l'installation 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

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

***Condition d'application : Type D***

L'évaluation de la robustesse est réalisée en supposant l'asservissement au RST hors service.

#### 3.6.2.1 Echelon de consigne du réglage primaire de tension

***Condition d'application : Types B, C, D***

Echelon de +2 % sur la consigne du réglage primaire de tension de l'unité de production initialement à P = [$P_{max\ unité}$], Q = 0 et U = [$U_{dim}$]. La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

***Condition d'application : Type D***

Cet échelon est réalisé en supposant l'asservissement au RST hors service.

***Condition d'application : Types B, C, D***

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

Le temps d'établissement de la puissance active au point de raccordement à ±1 % de sa valeur finale doit être inférieur à 10 secondes.

#### 3.6.2.2 Echelon de la consigne RST Uref

***Condition d'application : Type D***

Echelon de +1% sur la consigne RST de l'unité de production initialement à P = [$P_{max\ unité}$ ], Q = 0 et U = [$U_{dim}$.]. L'asservissement au RST est supposé en service. La consigne RST $U_{ref}$ initiale est déterminée par le point de fonctionnement de l'unité de production .

L'unité de production doit rester stable (pas de perte de synchronisme et pas de déclenchement sur une protection de l'installation).

**Références :**

- Code RfG [1], art. 19.2
- Arrêté [2]
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.3 « Stabilité ».

### 3.6.3 Stabilité sur report de charge

***Condition d'application : Types B, C, D***

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

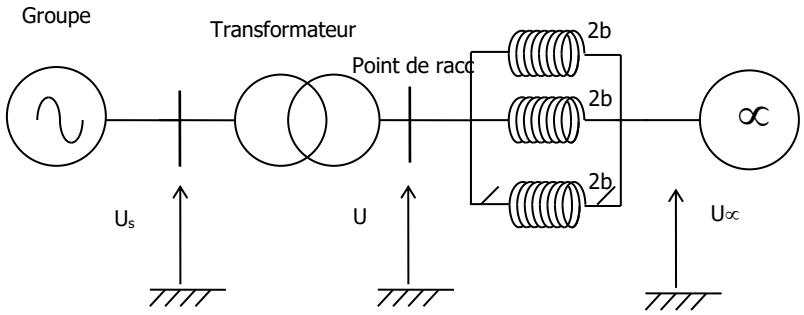



**Figure 7 : Schéma de réseau simplifié Stabilité sur Report de Charge**

1.1.1.3

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

***Condition d'application : Type D***

Cette étude est réalisée en supposant l'asservissement au RST hors service.

***Condition d'application : Types B, C, D***

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

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

**Références :**

- Code RfG [1], art 14.3, 15.6
- arrêté [2]
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.3 « Stabilité ».

### 3.6.4 Stabilité sur court-circuit

***Condition d'application : Types B, C, D***

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

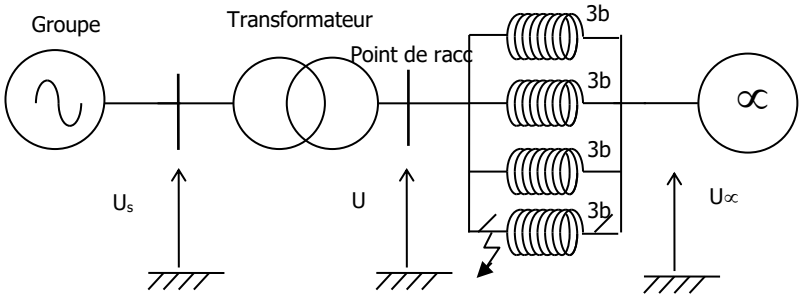



**Figure 8 : Schéma de réseau simplifié Stabilité sur court-circuit**

Défaut triphasé situé sur une des lignes de liaison à une distance du PDR égale à 1 % de la longueur totale de la ligne, éliminé en un temps [$T_{défaut\ simulé}$] par l'ouverture des disjoncteurs, avec l'unité de

production initialement à P = [$P_{max\ unité}$] Q = 0 et U = [$U_{dim}$]. La consigne initiale du réglage de tension est déterminée par ce point de fonctionnement.

Le temps d'application du défaut [$T_{défaut\ simulé}$] est défini dans les conditions particulières.

Si [Un] est dans le domaine HTB1, [$T_{défaut\ simulé}$] = 150 ms.

Si [Un] est dans le domaine HTB2 ou HTB3, [$T_{défaut\ simulé}$] = 85 ms.

***Condition d'application : Type D***

Cette étude est réalisée en supposant l'asservissement au RST hors service.

***Condition d'application : Types B, C, D***

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

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

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

**Références :**

- Code RfG [1], art 15.6
- Arrêté [2]
- Documentation Technique Référence [3], art. 4.3 « Stabilité ».

### 3.6.5 Comportement en cas de rupture de synchronisme

***Condition d'application : Types B, C ou (D et [Pmax_unité] ≤ 120 MW)***

L'unité de production doit se découpler dès la détection d'une perte de synchronisme, c'est à dire dès lors qu'un tour électrique d'angle interne ou une inversion de puissance est atteint.

***Condition d'application : Type D et [Pmax_unité] > 120 MW***

En cas de rupture fortuite du synchronisme avec le RPT, l'unité de production doit disposer d'une capacité constructive à supporter sans dommage avant de se déconnecter :

- 4 tours d'angle interne ;
- 20 inversions de puissance.

Le critère de détection de la rupture de synchronisme dépendra de la protection installée par le producteur. La séparation du réseau interviendra dès que ce critère est atteint.

Néanmoins, en cas de rupture de synchronisme suite à un défaut sur le système d'excitation, l'installation peut se déconnecter sans délai.

**Références :**

- Code RfG [1]: article 15.6 et 19.3
- Arrêté [2], art. 50.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.3 « Stabilité ».

### 3.6.6 Découplage réglage fréquence/tension

***Condition d'application : Types B, C, D***

Toute variation de fréquence inférieure à 250 mHz sur une dizaine de secondes ne doit pas conduire à une variation transitoire de la tension au point de raccordement supérieure à 5 % de $U_n$.

## 3.7 Non déclenchement sur creux de tension

***Condition d'application : Types B, C, D***

Pour tout creux de tension triphasé, biphasé ou monophasé, d'amplitude inférieure ou égale au gabarit ci-dessous, l'unité de production est capable de rester connectée au réseau et de continuer à fonctionner de manière stable.

***Condition d'application : Types B, C***

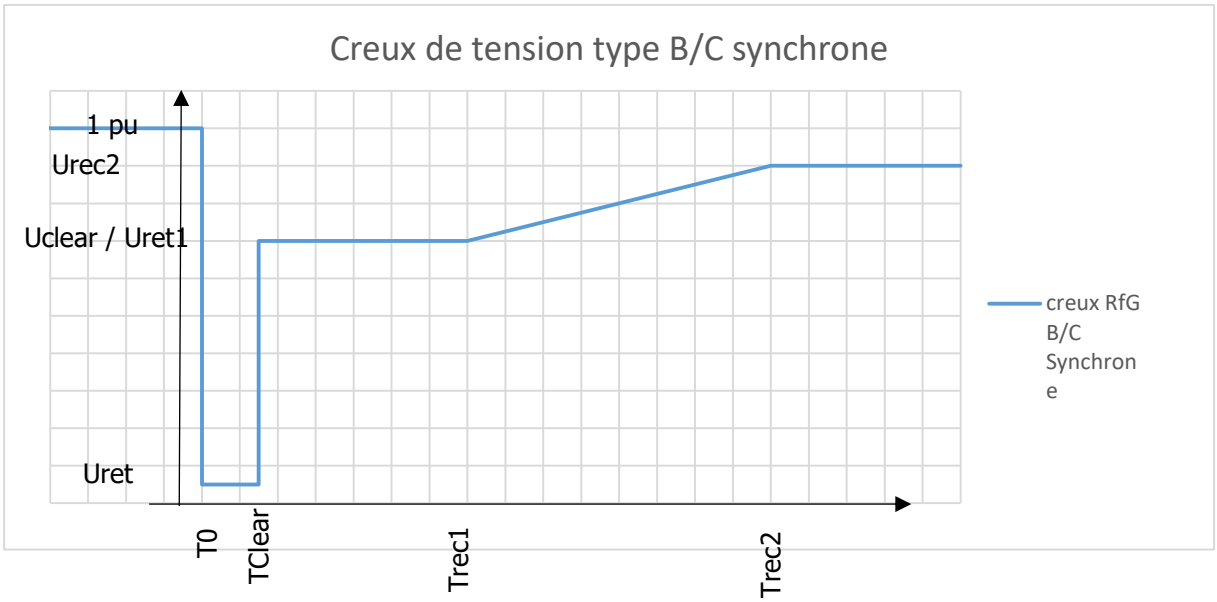



**Figure 9 : Gabarit de creux de tension pour unité de type B et C**

Les paramètres du creux de tension sont définis dans le tableau ci-dessous :

| ***Paramètres de tension (pu)*** | | ***Paramètres de temps (sec)*** | |
|---|---|---|---|
| ***Uret*** | ***0.05*** | ***Tclear*** | ***0*** |
| ***Uret*** | ***0.05*** | ***Tclear*** | ***0.15*** |
| ***Uclear*** | ***0.7*** | ***Tclear*** | ***0.15*** |
| ***Urec1*** | ***0.7*** | ***Trec1*** | ***0.7*** |
| ***Urec2*** | ***0.9*** | ***Trec2*** | ***1.5*** |

***Condition d'application : Type D***

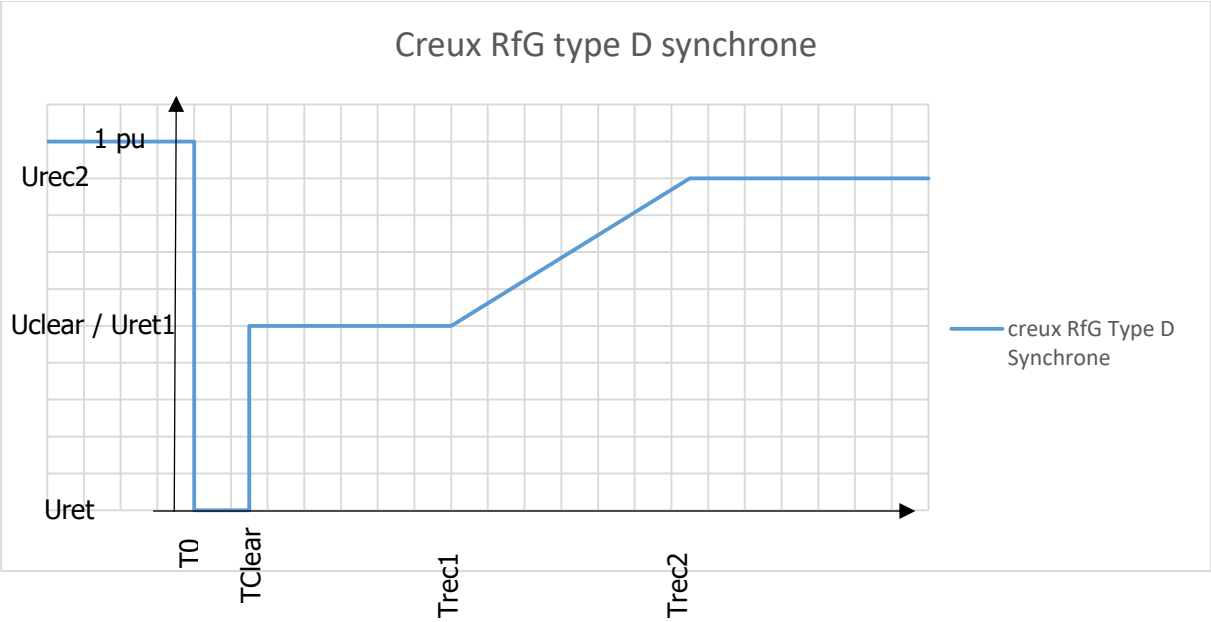



**Figure 10 : Gabarit de creux de tension pour unité de type D**

Les paramètres du creux de tension sont définis dans le tableau ci-dessous :

| ***Paramètres de tension (pu)*** | | ***Paramètres de temps (sec)*** | |
|---|---|---|---|
| ***Uret*** | ***0*** | ***Tclear*** | ***0*** |
| ***Uret*** | ***0*** | ***Tclear*** | ***0.15*** |
| ***Uclear*** | ***0.5*** | ***Tclear*** | ***0.15*** |
| ***Urec1*** | ***0.5*** | ***Trec1*** | ***0.7*** |
| ***Urec2*** | ***0.9*** | ***Trec2*** | ***1.35*** |

Les critères définissant la fin du creux sont les suivants :

- 5 secondes après le début du défaut ;

ou

- Retour dans les plages normales de fonctionnement des trois tensions.

Les creux de tension successifs doivent être tenus, tant que les limitations matérielles (thermiques, ou mécaniques) de l'unité ne sont pas atteintes.

**Références :**

- Code RfG [1], art. 14.3, art 16.3
- Arrêté [2], art. 48.
- Documentation Technique de Référence [3], art. 4.3 « Stabilité ».

## 3.8 Non déclenchement sur surtension

La mise en œuvre du gabarit de surtension **n'est pas obligatoire**. RTE recommande les paramètres mentionnés ci-dessous et ceci dès le type B :

Pour toute surtension triphasée ou monophasée, résultat de l'élimination d'un défaut, d'amplitude inférieure ou égale au gabarit ci-dessous, l'unité de production ne doit pas déclencher.

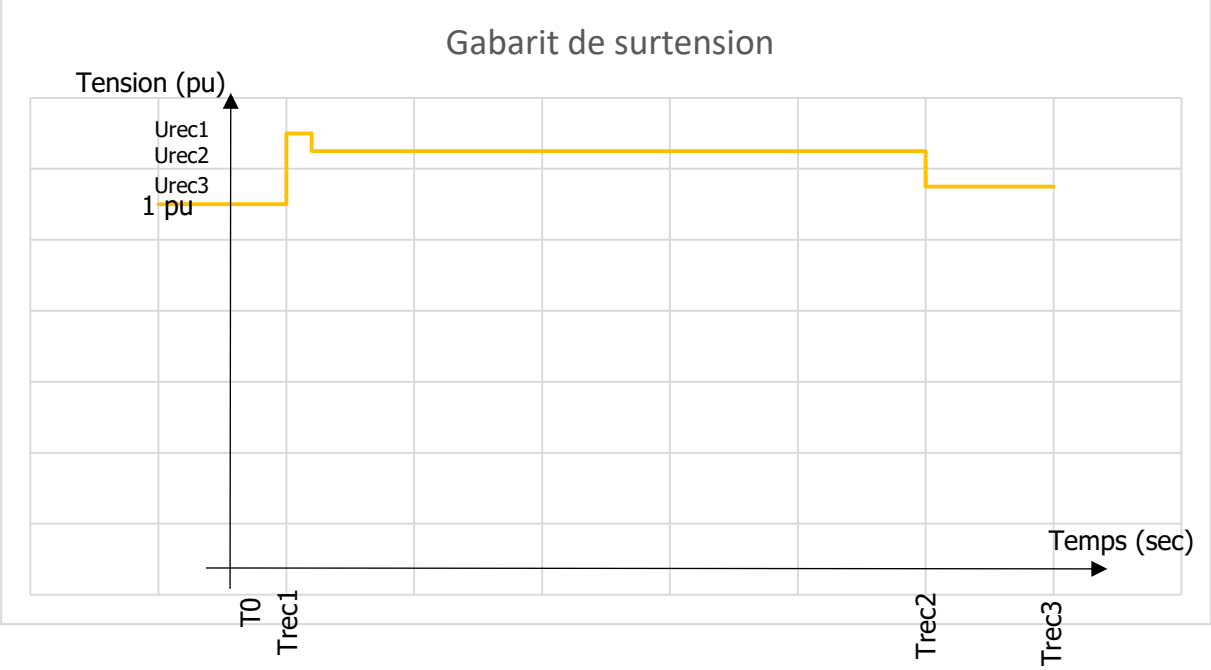



**Figure 11 : Gabarit de surtension**

Les paramètres de surtension sont définis dans le tableau ci-dessous :

| ***Paramètres de tension (pu)*** | | ***Paramètres de temps (sec)*** | |
|---|---|---|---|
| ***Urec1*** | ***1.3*** | ***T0*** | ***0*** |
| ***Urec1*** | ***1.3*** | ***Trec1*** | ***0.05*** |
| ***Urec2*** | ***1.25*** | ***Trec2*** | ***2.5*** |
| ***Urec3*** | ***1.15*** | ***Trec3*** | ***30*** |

## 3.9 Perturbations

***Conditions d'application : Types B, C, D***

Les perturbations produites par l'installation de production, mesurées au point de raccordement, ne doivent pas excéder les valeurs limites autorisées ci-dessous.

S correspond à [Pmax_unité] plafonnée à la valeur de 5 % de la puissance de court-circuit normée [Scc de référence], soit S=min([Pmax_unité], 0.05 [Scc de référence]).

La valeur de [Scc de référence] est rappelée dans les conditions particulières.

Pour rappel elle est égale à à 400 MVA en HTB1, à 1500 MVA en HTB2, à 7000 MVA en HTB 3
[Un] est la valeur de la tension nominale au point de raccordement

### 3.9.1 Unité de production raccordée en HTB 1 ou HTB 2

- A-coup de tension (notamment au couplage) : amplitude max= 5 %
- Papillotement : $Pst_{max}$ = 1
- Déséquilibre : taux de déséquilibre max = 1 %

- Harmoniques : courants harmoniques maximaux $I_{hn\ max} = k_n \frac{S}{\sqrt{3}Un}$

Où

$k_n$ est le coefficient de limitation défini en fonction du rang n de l'harmonique :

| Rangs impairs | kn (%) | Rangs pairs | kn (%) |
|---|---|---|---|
| 3 | 6,5 | 2 | 3 |
| 5 et 7 | 8 | 4 | 1,5 |
| 9 | 3 | > 4 | 1 |
| 11 et 13 | 5 | | |
| > 13 | 3 | | |

Taux global max : $\tau_{g\ max}$ = 8 %

### 3.9.2 Unité de production raccordée en HTB 3

- A-coup de tension (notamment au couplage) : amplitude max = 3 %
- Papillotement : $Pst_{max}$ = 0,6
- Déséquilibre : taux de déséquilibre max = 0,6 %
- Harmoniques : courants harmoniques maximaux $I_{hn\ max} = k_n \frac{S}{\sqrt{3}Un}$

Où

$k_n$ est le coefficient de limitation défini en fonction du rang n de l'harmonique :

| Rangs impairs | kn (%) | Rangs pairs | kn (%) |
|---|---|---|---|
| 3 | 3,9 | 2 | 1,8 |
| 5 et 7 | 4,8 | 4 | 0,9 |
| 9 | 1,8 | > 4 | 0,6 |
| 11 et 13 | 3 | | |
| > 13 | 1,8 | | |

Taux global max : $\tau_{g\ max}$ = 4,8 %

### 3.9.3 Scc au point de raccordement est inférieure aux valeurs normées

***Condition d'application : Types B, C, D***

Si la puissance de court-circuit du RPT au point de raccordement est inférieure à la [Scc de référence], les limites de perturbations de tension (à-coup, flicker et déséquilibre) indiquées ci-dessus sont à modifier en les multipliant par le rapport entre la valeur de puissance de court-circuit de référence correspondante indiquée ci-dessus et la puissance de court-circuit effectivement fournie par le RPT au PDR et donnée par RTE.

Les nouvelles limites de perturbations seront données dans les conditions particulières

**Références :**

arrêté [2], art. 15.

### 3.9.4 Tensions harmoniques

***Condition d'application :***

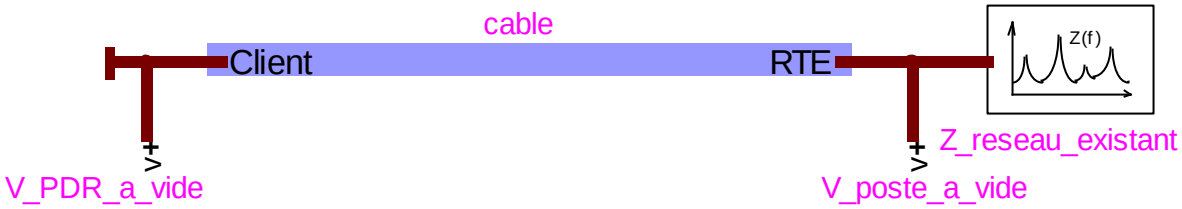
- ***Unités de type B, C, D (sur demande de RTE),***

Les exigences déclinées dans ce paragraphe s'appuient sur les documents [5]~~[4]~~ & [6]~~[5]~~.

L'approche proposée comporte deux étapes, la première concerne RTE (cf **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**~~3.9.4.1~~) : RTE étudie le raccordement à vide et détermine les limites de tensions harmoniques que devra respecter l'installation connectée (raccordement en charge). La seconde étape concerne le client (cf **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**~~3.9.4.3~~) : le client réalise l'étude harmonique de son installation et vérifie que les limites sont respectées. A la mise en service des essais de conformités sont réalisés pour vérifier le respect de ces mêmes limites.

#### 3.9.4.1 Etude réalisée par RTE

RTE estime par une étude les niveaux d'harmoniques et le taux de distorsion harmonique (THD) après les travaux de raccordement (ouvrages de raccordement sous tension), et avant la mise sous tension des ouvrages du client producteur. Elle permet d'évaluer les niveaux harmoniques sans les ouvrages du client producteur.




Il s'agit de vérifier que les niveaux obtenus ($hx_{RTE}$) présentent une marge suffisante par rapport à aux seuils de tension $V_{global}$ [2]et par rapport aux seuils de THD globaux. Cette marge permettra, après connexion du client, d'absorber les harmoniques émises et amplifiées par le raccordement.

| Rang | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{global}$ (%) | 3 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 |

| Rang | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{global}$ (%) | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1.5 | 0,5 |

| Rang | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{global}$ (%) | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0,5 |

| Rang | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{global}$ (%) | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 |

| $THD_{global}$ [%] | $THDpair_{global}$ [%] |
|---|---|
| 5 | 1 |

Les THD correspondent formules ci-dessous (avec $V_h$ la tension harmonique de rang h):

[2] Les valeurs des seuils $V_{global}$ est issue des niveaux de tensions de l'article 99 de l'arrêté raccordement du 9 juin 2020 où elles étaient données à titre indicatif.

$$THD_{tension} = \sqrt{\sum_{h=2}^{50} V_h^2}$$

$$THD_{tension\ pair} = \sqrt{\sum_{h=1}^{25} V_{2h}^2}$$

La marge est adaptée selon le raccordement (nombre de clients) et selon le rang harmonique considéré, cette marge correspond aux seuils $V_{marge}$ pour chaque rang harmonique et $THD_{marge}$, ils doivent vérifier les équations suivantes :

**Équation 1** $\boldsymbol{V_{marge} < V_{global}\ ; THD_{marge} < THD_{global}}$

**Équation 2** $\boldsymbol{V_{PDR\ à\ vide} = hx_{RTE} < V_{marge}\ ;\ THD_{PDR\ à\ vide} = THD_{RTE} < THD_{marge}}$

**Équation 3** $\boldsymbol{V_{Poste\ RTE\ à\ vide} < V_{marge}}$

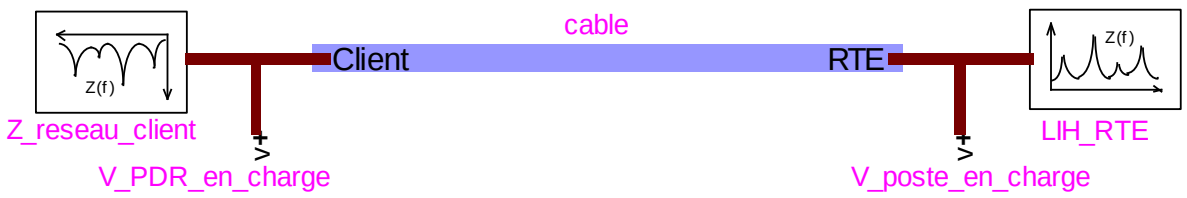
$V_{PDR\ à\ vide}$ correspond à la tension harmonique au Point De Raccordement (PDR).
$V_{Poste\ RTE\ à\ vide}$ correspond à la tension harmonique au poste de raccordement, défini comme le premier nœud du réseau contenant des départs ne faisant pas partie du raccordement.
$V_{marge}$ correspond au niveau maximal que RTE pourra atteindre dans son étude harmonique à vide (s'il le dépasse, RTE prendra les dispositions permettant d'abaisser le niveau sous le $V_{marge}$). Ce niveau permet, d'assurer que la limite imposée au client restera sous la limite $V_{global}$. Par exemple, dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**~~Figure 13~~ du §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**~~3.9.4.2~~, le $V_{marge}$ est de 3% : si on prolongeait la courbe verte, elle dépasserait le $V_{global}$ ce qui n'est pas acceptable.
Une définition mathématique du $V_{marge}$ peut être donnée: il s'agit de l'abscisse du point d'intersection de la droite de limite imposée au client (équation 5 ou 6 selon les cas de figure) avec la droite $V_{global}$.

Si un ou plusieurs rangs dépassent $V_{marge}$, RTE prend les dispositions permettant d'abaisser les niveaux de ces derniers en-dessous de $V_{marge}$.

Ces niveaux calculés, à savoir $hx_{RTE}$ et $THD_{RTE}$, sont transmis au client avec des Lieux d'Impédance Harmoniques (LIH), qui décrivent le comportement harmonique du réseau vu du PDR.

### 3.9.4.2 Limite en tension

Cette exigence en tension à destination du client, s'applique pour les rangs 2 à 50, en limite de propriété (au PDR), par sous-ensembles de Points d'Interface reliés au même poste électrique.



La limite autorisée au client est déterminée à partir du niveau calculé lors de l'étude RTE, faite avec raccordement à vide ($hx_{RTE}$). Les $hx$ sont exprimés en % de la tension nominale fondamentale.

La limite est obtenue en multipliant le niveau estimé au PDR ($hx_{RTE}$) par un facteur d'amplification et en ajoutant un incrément correspondant à l'émission propre de l'installation. On utilise l'Équation 4~~Équation 4~~, l'Équation 5~~Équation 5~~ ou l'Équation 6~~Équation 6~~ selon le rang et le niveau rencontré.

Mis en fo
Mis en fo
Mis en fo

Ainsi, quand les niveaux $hx_{RTE}$ sont suffisamment bas, la limite est :

**Équation 4** $$hx_{LIMITE} = \frac{2 \times hx_{RTE} + V_{global}}{3} = hx_{RTE} + \frac{1}{3}\left(V_{global} - hx_{RTE}\right) \ (fraction)$$

Pour des niveaux $hx_{RTE}$ plus hauts, la limite est :

**Équation 5** $$hx_{LIMITE} = 1.2 \times hx_{RTE} + 0.2\% \ [pour\ les\ rangs\ x < 15] \ (affine)$$

**Équation 6** $$hx_{LIMITE} = 1.5 \times hx_{RTE} + 0.2\% \ [pour\ les\ rangs\ x \geq 15]$$

Les équations 4, 5 et 6 sont représentées respectivement en Orange, et Vert sur les Figures 13 et 14. Leurs plages d'utilisation permettent de garantir la continuité des limites $hx_{LIMITE}$ fixées par RTE, quels que soient les niveaux $hx_{RTE}$. Le passage du seuil haut au seuil bas se fait à l'intersection des courbes des équation 4 et 5 (rangs$< 15$) ou équations 4 et 6 (rangs $\geq 15$).
Une fréquence inter-harmonique est une fréquence non multiple de la fréquence fondamentale (50Hz). Pour les inter-harmoniques, la limite est :

**Équation 7** $$interhx_{LIMITE} = 0.2\%$$

Le THD (calculé jusqu'au rang 50 en tenant compte des inter-harmoniques si existantes) peut augmenter dans la limite de ($THD_{RTE} = THD_{PDR\ à\ vide}$) :

**Équation 8** $$THD_{LIMITE} = 1.2 \times THD_{RTE} + 0.2\%$$

**Équation 9** $$THD_{pair\ LIMITE} = 1.2 \times THD_{pair\ RTE} + 0.2\%$$

Les Equation 4 et 5 sont présentées sur la figure 12, avec une limite $V_{global}$ de 4% (cas du rang 3, 5 ou 7) :

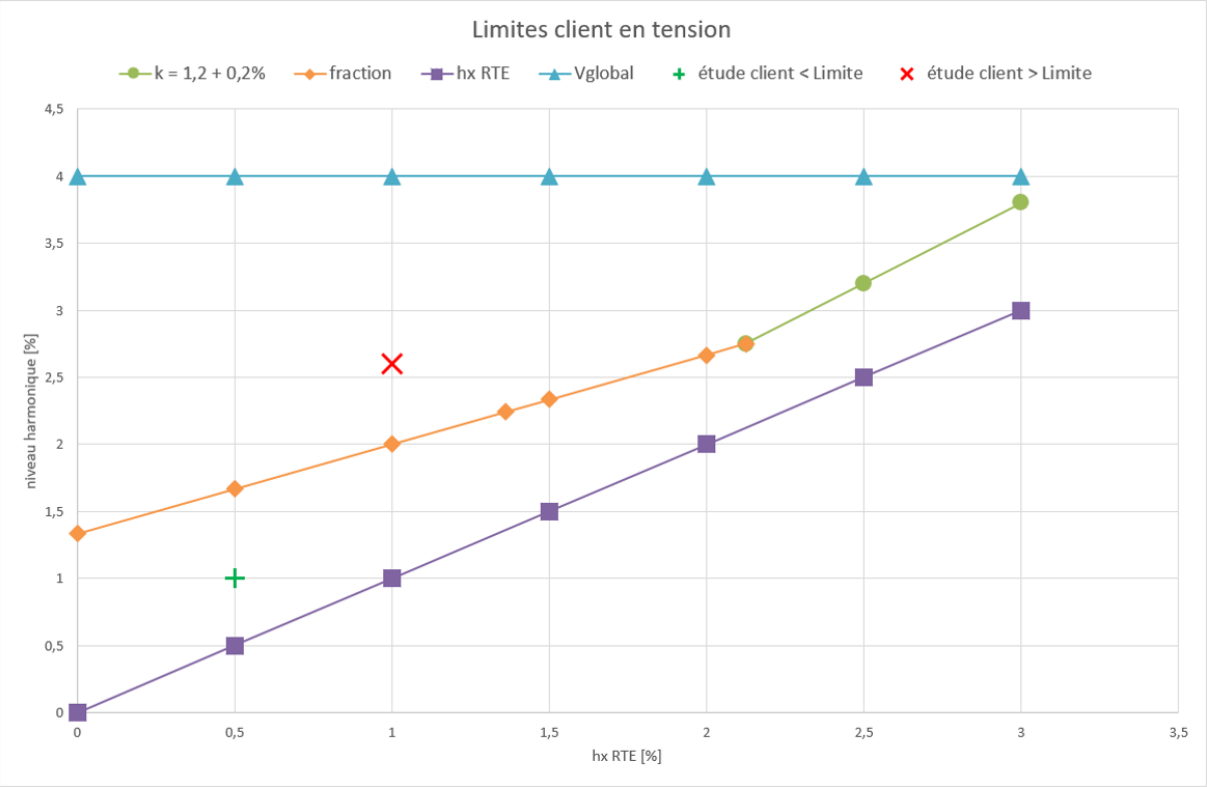



**Figure 12 – Limites client en tension (pour une limite $V_{global}$ à 4%)**

Les Équation 4~~Équation 4~~ & Équation 6~~Équation 6~~ sont présentées sur la figure 13, avec une limite $V_{global}$ de 2% (cas du rang 17, 19) :

Mis en fo
Mis en fo

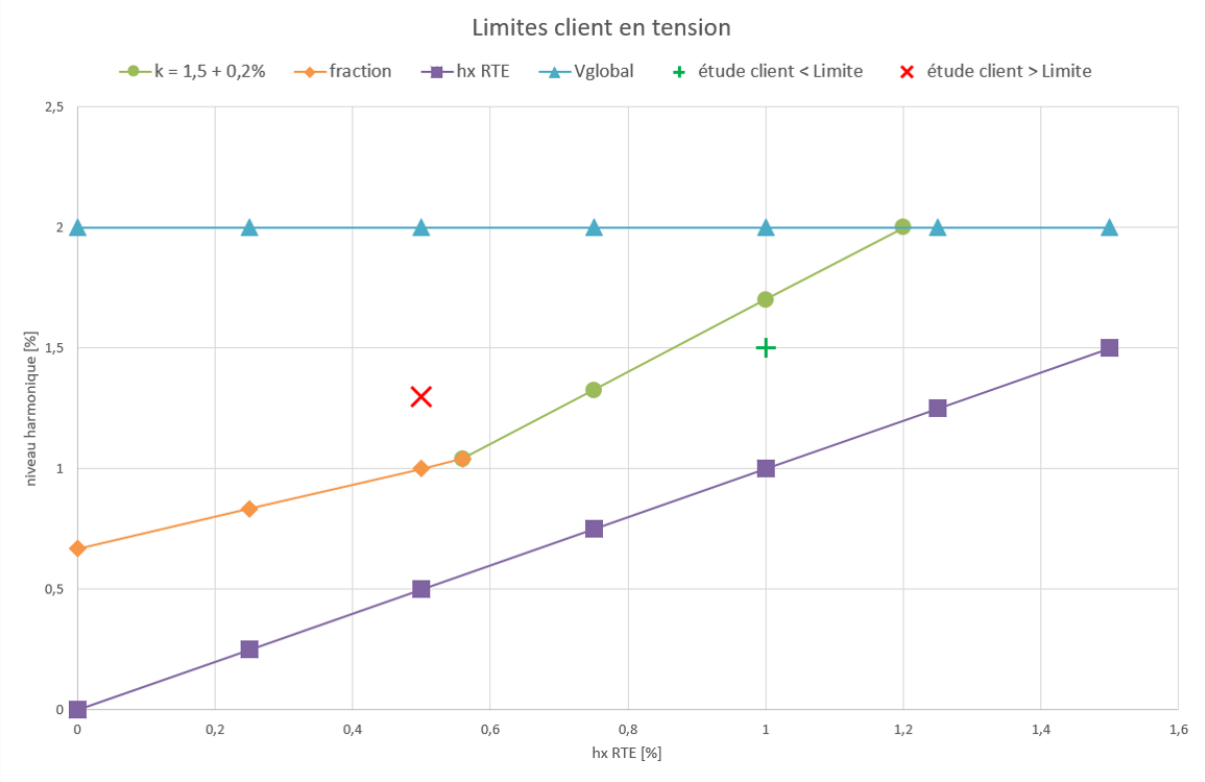



**Figure 13 – Limites client en tension (pour une limite $V_{global}$ à 2%)**

### 3.9.4.3 Etude réalisée par le client

L'étude du client présente pour chaque rang, le niveau agrégé de perturbation en détaillant notamment :

- le phénomène d'amplification (effet de résonance) des niveaux harmoniques préexistants
- les émissions propres du client (causées par les convertisseurs à base d'électronique de puissance par exemple)

De façon à tenir compte du foisonnement des sources, l'agrégation des phénomènes peut se faire suivant la formule :

| | Rang harmonique | $\alpha$ |
|---|---|---|
| $U_h = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_{hi}^{\alpha}}$ | $h < 5$<br>$5 \leq h \leq 10$<br>$h > 10$ | 1<br>1,4<br>2 |

On peut expliciter la formule :

Équation 9

$$U_{h_{aggrégé}} = \begin{cases} U_{h_{amplification}} + U_{h_{émission\ client}} & (h < 5) \\ \sqrt[1.4]{\left(U_{h_{amplification}}\right)^{1.4} + \left(U_{h_{émission\ client}}\right)^{1.4}} & (5 \leq h \leq 10) \\ \sqrt{\left(U_{h_{amplification}}\right)^{2} + \left(U_{h_{émission\ client}}\right)^{2}} + & (h > 10) \end{cases}$$

Les niveaux $U_{h_{aggrégé}}$ obtenus sont à comparer aux $hx_{LIMITE}$ transmises par RTE.

RTE pourra demander à consulter le rapport d'études du client, en particulier pour un raccordement de plusieurs clients (§3.9.4.4).

Des essais à la mise en service permettront de s'assurer du respect de l'augmentation totale par rapport à la situation parc déconnecté. Les essais se déroulent en 2 phases :

A. mesure en l'absence de l'installation client (raccordement à vide) : vérifier que les niveaux à vide sont bien inférieurs à ceux déterminés par RTE dans son étude (si ce n'est pas le cas, à RTE d'y remédier). Une fois que c'est le cas, on passe à la phase B.
B. mesure en présence de l'installation client (raccordement en charge) : vérifier que les niveaux en charge sont bien inférieurs aux limites fixées par RTE dans son étude (si ce n'est pas le cas, au client d'y remédier)

#### 3.9.4.4 Connexion de plusieurs clients au même poste

Dans le cas où deux clients souhaitent être raccordés simultanément ou dans des délais proches, RTE coordonne les études des deux clients et peut décider de réaliser une étude complète afin d'intégrer les contributions des différents acteurs, et d'évaluer si des interactions harmoniques peuvent survenir. Cette étude éventuelle nécessite la transmission des caractéristiques des installations clients à RTE.

RTE évaluera dans quel cas on se trouve parmi ceux présentés ci-dessous :

CAS 1: Raccordement des clients en simultané :

Dans ce cas :

1. RTE transmet à chaque client les données prévues ainsi que les limites à respecter en tension et en courant .
2. Chaque client transmet à RTE, dès qu'elles sont connues, les caractéristiques de ses installations.
3. Chaque client fait l'étude tenant compte du réseau RTE (LIH) et de son propre raccordement, sans tenir compte de l'autre client.
4. RTE réalise une étude globale permettant d'agréger les contributions des différents acteurs, et d'évaluer si des interactions harmoniques peuvent survenir.

CAS 2: Raccordement des clients en décalé :

Dans ce cas la séquence est la suivante :

1. RTE transmet au client A (qui arrive en 1er) les données prévues ainsi que les limites à respecter en tension et en courant .
2. Le client A transmet à RTE, dès qu'elles sont connues, les caractéristiques de ses installations
3. Le client A réalise l'étude de son propre raccordement, sans tenir compte de l'autre client
4. Le client A est mis en service
5. Le client B transmet à RTE, dès qu'elles sont connues, les caractéristiques de ses installations
6. RTE transmet au client B les données prévues en intégrant dans le LIH les données du client A. Ainsi les données du client A sont « anonymisées » (le client B ne pourra pas les récupérer dans le LIH
7. Le client B réalise l'étude de son propre raccordement. L'étude tient donc compte des 2 clients
8. Si besoin, RTE réalise une étude globale permettant d'agréger les contributions des différents acteurs, et d'évaluer si des interactions harmoniques peuvent survenir.

A noter que l'étape 5 peut démarrer avant que l'étape 4 ne soit terminée. En principe l'étape 6 ne peut se faire qu'après la fin de l'étape 4 (pour obtention des mesures au PDR). Si l'étude client A est jugée de qualité suffisante par RTE, elle peut être utilisée pour anticiper l'étape 6 et transmettre des mesures au PDR calculées (et pas mesurées). Si nécessaire, les limites fixées au 2ème client seront ré évaluées par RTE après la mise en service du 1er client

#### 3.9.4.5 Connexion d'un même client sur plusieurs Points d'Interface (PI)

Si un client prévoit de se raccorder selon plusieurs Points d'Interface (PI), il devient délicat pour RTE de calculer les LIH vus à chacun des PI. En effet, le LIH du PI N°1 (flèche rouge ci-dessous) est influencé

par le PI N°2, et donc par le client qui y est raccordé, dont RTE n'a pas encore les caractéristiques. Dans ce cas, RTE transmet le LIH vu du poste électrique RTE voisin (flèche verte ci-dessous), ainsi que les éléments nécessaires (schémas RTE, caractéristiques électrotechniques) à la modélisation des raccordements par le client.

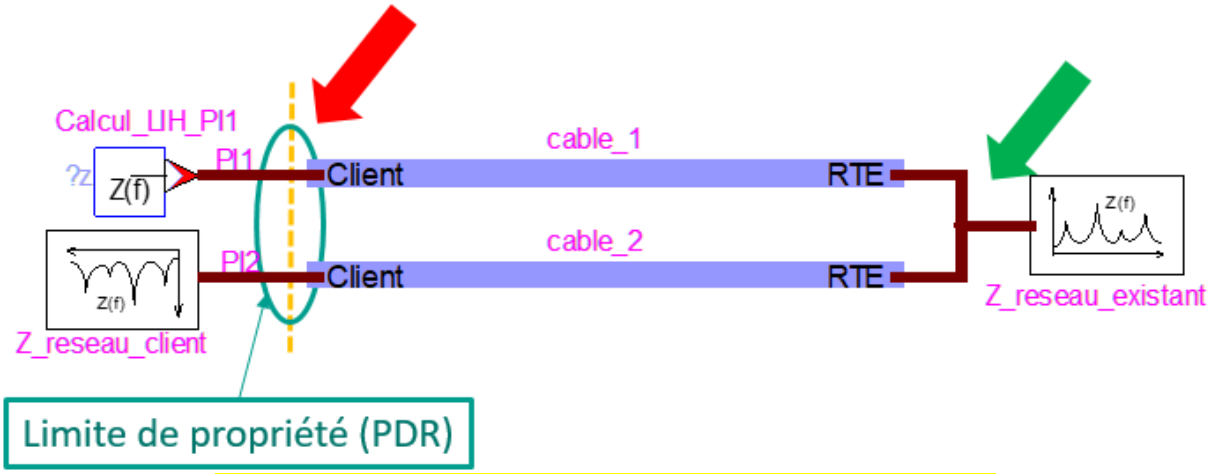



Figure 14 – Point de Raccordement (PDR) et Point d'Interface (PI)

Dans le cas d'un raccordement en HVDC avec plusieurs PI, cette influence est très limitée (découplage par les liaisons à courant continu), il suffit alors de transmettre un LIH par PI et le schéma d'exploitation.

#### 3.9.4.6 Complément pour les raccordements HVDC

Dans le cadre de raccordement effectué en HVDC (PPM DC), le périmètre des études du client en tension est à étendre jusqu'au rang harmonique N°100 en supposant que le niveau pré existant sur le RPT est nul, ou en instrumentant le réseau d'équipements non qualifiés à ce jour par RTE.

La limite à respecter du rang 51 au rang 100 est alors de 0.2%.

#### 3.9.4.7 Transmission des données

RTE communique au producteur les données relatives à son étude au plus tard, à la dernière des deux dates suivantes :

- date de la signature de la convention de raccordement
- ou **36 mois** avant l'EON.

Les données transmises sont :

- Lieux d'Impédances Harmoniques (LIH) décrivant le comportement électrotechnique du réseau de transport
- Niveaux calculés lors de l'étude RTE : $hx_{RTE}$ (une valeur par rang)
- Limites à respecter par le client :
  - Tensions harmoniques $hx_{LIMITE}$
  - Tensions inter-harmoniques $interhx_{LIMITE}$
  - Taux de distorsion harmonique $THD_{LIMITE}$
  - Taux de distorsion harmonique pair $THD_{pair\ LIMITE}$
  - Courants harmoniques (limites actuelles) $I_{LIMITE}$

Un temps d'échange technique peut être prévu entre le client et RTE. C'est l'occasion pour RTE de présenter les résultats de l'étude à vide, ainsi que les données transmises au client. Le client peut à son tour présenter les données qu'il prévoit d'utiliser et la méthode d'étude.

Même si le client détermine librement le moment de réalisation de l'étude, il est fortement conseillé de mener l'étude harmonique avant l'achat des matériels du client.

Sur demande du client, des mesures harmoniques au poste de raccordement (ou au poste le plus proche en cas de poste neuf) pourront être transmises par RTE au moment de la signature de la convention de raccordement

**Références :**

- Code RfG [1] : article 15.6.b

Code RfG [6] : article 44

## 3.10 Données permettant de simuler le comportement de l'installation

***Condition d'application : Types B, C, D***

Pour tous les projets de raccordement au RPT, le producteur fournit à RTE d'un modèle (pas de modèle propriétaire, ni black-box) (schémas blocs et paramètres des régulations, caractéristiques de l'alternateur, du/des transformateurs…) permettant de faire les études de stabilité en tension et de stabilité transitoire (modélisation type phaseur). Ces informations sont transmises dans la fiche E1 du Cahier des charges capacités constructives

***Condition d'application : Types C, D sur demande RTE***

Le producteur doit fournir à RTE des données pour la réalisation d'études dynamiques permettant de simuler le comportement de son unité de production et en particulier les phénomènes transitoires électromagnétiques.

Ces données doivent permettre à RTE de développer un modèle adapté aux études de transitoires électromagnétiques. Ce modèle doit représenter fidèlement le comportement transitoire (phénomènes de dynamique rapide, ~ 10 kHz) en régime direct, inverse et homopolaire de l'unité de production. On peut citer à minima :

- analyses fréquentielles
- analyse de défaut proche et de transitoires électromagnétiques rapides
- études harmoniques

Afin de pouvoir réaliser des études en amont du raccordement de l'unité de production, le producteur doit fournir ces données en 2 étapes :

- **des données préliminaires** doivent être fournies à RTE au plus tard 18 mois avant la 1ère injection,
- **des données définitives** doivent être fournies à RTE au plus tard 8 mois avant la 1ère injection

**Description des données**

On peut identifier deux types de données :

a. Les caractéristiques électriques détaillées des équipements utilisés.

b. Le(s) modèle(s) des systèmes de contrôle commande et de protection

**Les caractéristiques électriques détaillées des équipements**

L'ensemble des caractéristiques des composants HT (transformateurs, câbles, systèmes de compensation et/ou de filtres, machines tournantes, convertisseurs à base d'électronique de puissance, etc.), doivent être fournies dans un document. Ces caractéristiques seront associées à un schéma unifilaire de l'unité de production afin que RTE puisse créer dans ses outils de simulation de transitoires électromagnétiques un modèle détaillé de l'unité de production.

**Le(s) modèle(s) des systèmes de contrôle commande et de protection**

Les modèles détaillés des systèmes de contrôle commande peuvent contenir des données techniquement sensibles. C'est pourquoi seule la fourniture de ces modèles sous forme de "boîte noire", c'est-à-dire sous forme de code compilé, est requise. Une description simplifiée du contrôle commande sous forme de schéma bloc devra également être fournie, en complément de ces modèles. Ce schéma bloc (déjà demandé dans la fiche E1 pour l'étude des transitoires électromécaniques) permettra de comprendre les grandes fonctionnalités du système sans en révéler les parties industrielles sensibles.

Ces systèmes de contrôle commande et de protection doivent être modélisés de manière détaillée afin d'être intégré au modèle détaillé de l'unité de production décrit ci-dessus. Par conséquent ils ne doivent pas être agrégés. Ces modèles de contrôle commande doivent permettre l'étude de transitoires électromagnétiques.

Les consignes de production en actif et réactif ou de contrôle de la tension devront être des paramètres réglables du modèle.

Ces modèles "boites noires" seront des codes compilés (bibliothèque statique ou dynamique – pas d'exécutable) qui pourront être appelés dans une boucle temporelle à pas de temps fixe à partir d'un code en langage C ou FORTRAN, indépendants de tout logiciel de simulation. RTE sera ensuite en charge d'intégrer ces composants dans ses logiciels de simulation de transitoires électromagnétiques, à savoir EMTP-RV et HYPERSIM.

Les modalités de validation des modèles avant fourniture à RTE seront également définies.

Ces modèles doivent être élaborés à partir du logiciel qui a été utilisé pour concevoir le contrôle commande ou être directement générés à partir du code source du contrôleur. A titre illustratif deux exemples sont présentés ci-dessous.

- Si le contrôle commande détaillé a été étudié initialement dans le logiciel PSCAD, l'interface PSCAD / EMTP-RV pourra être utilisée pour générer un modèle "boîte noire". RTE peut fournir un appui sur les conditions d'utilisation de cette interface.
- Si le modèle de contrôle commande est disponible dans le logiciel Matlab-Simulink, l'interface Simulink / EMTP-RV pourra être utilisée pour importer le modèle sous la forme de "boîte noire".

**Fourniture finale des modèles :**

La fourniture finale doit comprendre **:**

- La version finale des modèles : cette dernière version doit être approuvée par RTE sur la base de comparaisons avec des résultats obtenus lors des FAT sur le véritable contrôle-commande et des mesures réalisées dans l'unité de production au plus tard 1 mois après la mise en service finale.
- La version finale du modèle PSCAD si ce logiciel a été utilisé par le fournisseur pour concevoir l'unité de production.
- Une documentation sur les modèles, entièrement sous format informatique (.pdf), incluant :
  - les schémas simplifiés du système de contrôle-commande et de protection,
  - une description détaillée des entrées et sorties des modèles un manuel d'utilisation (paramétrage, plages de valeurs autorisées, etc.)
  - un exemple d'utilisation sous la forme d'un code informatique qui interagit avec le modèle de contrôle commande. L'objectif de cet exemple est de valider le fait que le modèle boîte noire peut communiquer avec un processus externe. Cet exemple ne servira pas à valider le comportement du modèle en tant que tel.
- Un rapport de validation incluant pour chaque test d'acceptation en usine la superposition (sur la même figure) des résultats donnés par le modèle et des résultats donnés par le contrôle-commande réel (relié à un simulateur en temps réel).
- Un engagement du producteur à garantir pendant toute la durée de vie du contrôle commande le maintien de la similitude entre le contrôle-commande réel et le modèle fourni à RTE, sur les modifications impactant les performances de l'unité de production.

**Références :**

- Code RfG [1] art 15.6 c

## 3.11 Echanges d'informations

Les prescriptions ou exigences fonctionnelles concernant le raccordement et l'échange d'informations de téléconduite sont présentées dans le cahier des charges pour le raccordement au système de téléconduite de RTE de l'installation. Ce document, comme le cahier des charges des capacités constructives, est annexé à la convention de raccordement.

La réponse du producteur pour démontrer sa conformité vis-à-vis des performances attendues se fera via le contrôle de conformité (fiches E4 de l'étape 1, I9 de l'étape 2 et F1 de l'étape 3).

## 3.12 3.12 Système de protection

Les prescriptions ou exigences fonctionnelles du système de protection de l'installation sont présentées dans le cahier des charges des systèmes de protection contre les défauts d'isolement. Ce document, comme le cahier des charges des capacités constructives, est annexé à la convention de raccordement.

La réponse du producteur pour démontrer sa conformité vis-à-vis des performances attendues se fera via le contrôle de conformité (fiche E3 de l'étape 1).

# 4. FICHES DE CONTROLE AVANT L'ACCES DEFINITIF AU RESEAU

La liste des fiches de contrôle applicables à l'unité de production est définie dans les conditions particulières.

**Références :**

- Documentation Technique de Référence [3], art. 1.2 « Raccordement des installations de production » et Chapitre 5 « Contrôle de conformité des installations ».

# 5. REFERENCES

[1] RÈGLEMENT (UE) 2016/631 DE LA COMMISSION du 14 avril 2016 établissant un code de réseau sur les exigences applicables au raccordement au réseau des installations de production d'électricité

[2] Arrêté du 09 juin 2020 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement au réseau public de transport d'électricité d'une installation de production d'énergie électrique.

[3] Code de l'Energie.

[4] Documentation Technique de Référence en vigueur à la date d'envoi de la PTF.

[5] CEI 61000-3-6 - Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems

[6] IEEE 519 – Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems

# 6. LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Principes de calcul des marges de stabilité

ANNEXE 2 : Définitions des caractéristiques de la réponse à un échelon

# ANNEXE 1 : PRINCIPES DE CALCUL DES MARGES DE STABILITE

## 1. Définitions

### 1.1 Boucle de régulation

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

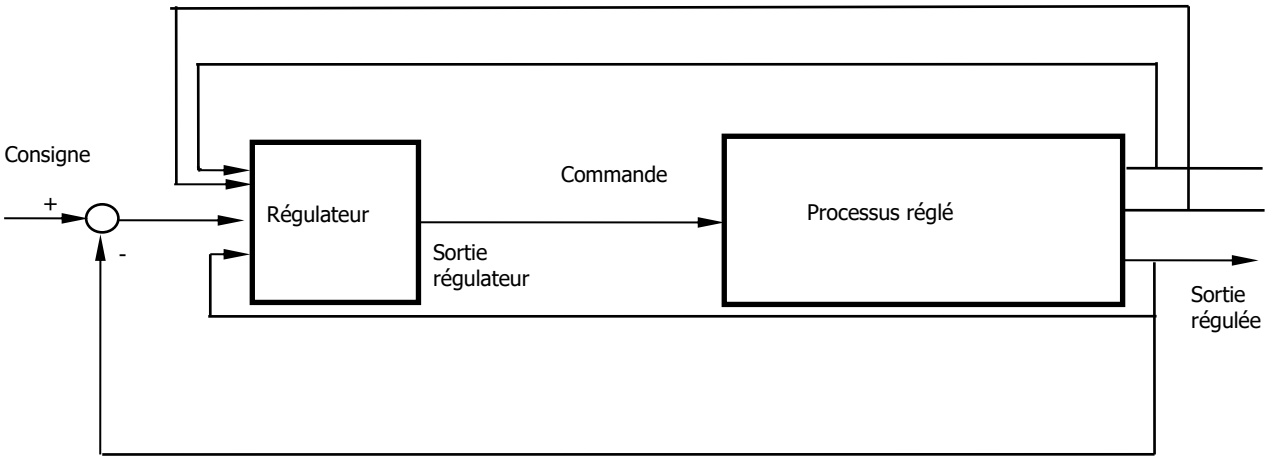



**figure 1**

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].

### 1.2 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 Mg 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 Mp est l'angle $\phi$ tel que Arg[H(j$\omega$0)]=$\pi$+$\phi$ avec $\omega_0$ pulsation au gain unité.**
- **La marge de retard Mr est égale la marge de phase divisée par $\omega_0$. Mr=Mp/$\omega_0$.**

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

- **La marge de module Mm est définie comme la distance minimale au point -1. Mm=Min (|1+H(p)|).**

C'est l'inverse du coefficient de résonance harmonique[3] de la fonction de sensibilité $S = \frac{1}{1+H}$.

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

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

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 Mmc > 0,33 c'est à dire λ < 3,03. Le " λ-cercle " correspondant a donc pour centre [-1,12 ; 0] et un rayon de 0,37

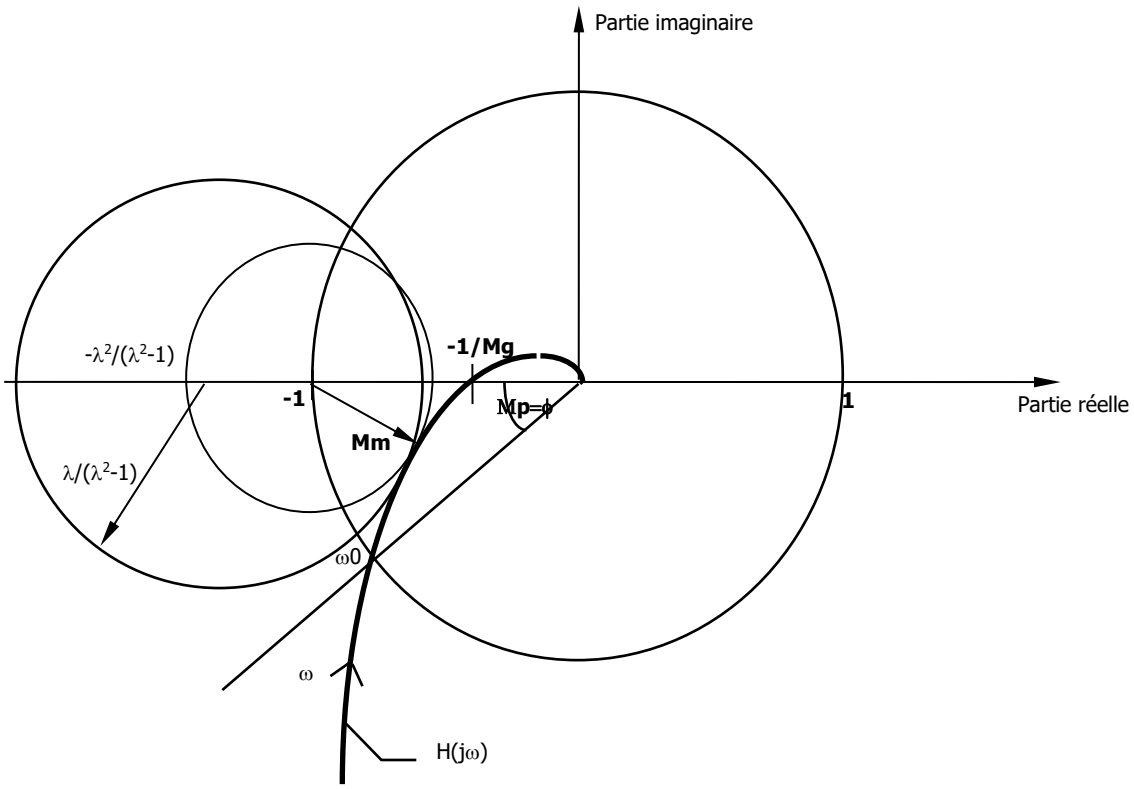
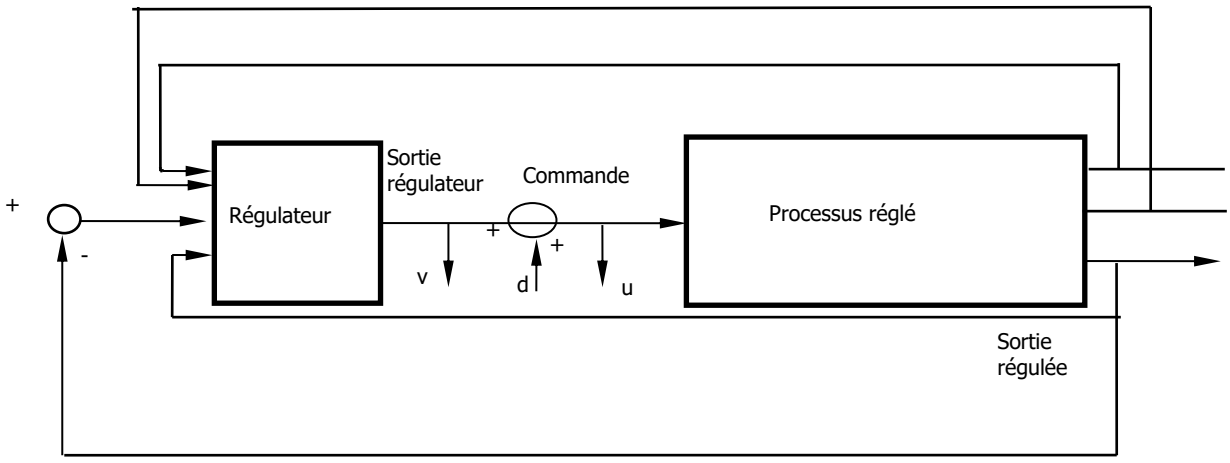



**Figure 2**

## 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.

# ANNEXE 2 : DEFINITIONS DES CARACTERISTIQUES DE LA REPONSE A UN ECHELON

Les temps caractéristiques décrits sur la courbe ci-dessous sont utilisés dans les fiches de contrôle. Leurs définitions sont les suivantes :

- Temps de réaction (reaction time) : durée comprise entre la variation subite d'une grandeur de commande et le moment où la variation correspondante d'une grandeur de sortie a atteint 10% de la valeur définie.
- Temps de montée (rise time) : durée comprise entre le temps de réaction et le moment où la variation correspondante d'une grandeur de sortie a atteint 90% de la valeur définie.
- Temps de réponse (response time) : durée comprise entre la variation subite d'une grandeur de commande et le moment où la variation correspondante d'une grandeur de sortie a atteint pour la première fois la bande de tolérance de la valeur définie.
- Temps d'établissement (settling time) : durée comprise entre la variation subite d'une grandeur de commande et le moment à partir duquel la variation correspondante d'une grandeur de sortie reste dans la bande de tolérance de la valeur définie

