
Annexe technique de la méthodologie pour effectuer le dimensionnement probabiliste des FCR dans la zone synchrone EC conformément à l'article 153, paragraphe 2, du règlement (UE) 2017/1485 de la Commission du 2 août 2017 établissant une ligne directrice sur la gestion du réseau de transport de l'électricité

Date : 15 janvier 2025

Contenu

1	Acronymes et références	3
2	Méthodologie de l'approche probabiliste pour le dimensionnement des FCR	4
2.1	Vue d'ensemble et description de la méthodologie	4
2.2	Fonctionnalité pour les statistiques de DFDs et les extractions aléatoires de DFDs	7
2.3	Fonctionnalité pour les statistiques LLFDs et les extractions aléatoires LLFDs	7
2.4	Fonctionnalité des extractions aléatoires des pannes et calcul des déséquilibres de puissance associés.....	8
2.5	Fonctionnalité de combinaison des DFD, LLFD et pannes extraites pour générer des tendances globale de déséquilibre de puissance.....	9
2.6	Modèle pour calculer l'écart de fréquence en régime permanent toutes les minutes.....	10
2.7	Modèle pour calculer la dynamique de la déviation de fréquence à chaque minute	13
2.8	Évaluation des critères d'acceptabilité de la déviation de fréquence simulée qui en résulte	15

1 Acronymes et références

ACE	Ecart de réglage de zone
EC	Europe continentale
LER	Unités ou groupes fournissant des FCR et disposant de réservoirs d'énergie limités
FCR	Réserve de stabilisation de la fréquence
FCP	Processus de stabilisation de la fréquence
FRR	Réserve de restauration de fréquence
FRP	Processus de restauration de la fréquence
FSM	Mode de sensibilité à la fréquence
Non-LER	Unités ou un groupes fournissant des FCR sans réservoirs d'énergie limités
NP RES	Sources d'énergie renouvelables non programmables
RES	Sources d'énergie renouvelables
SO GL	Ligne directrice sur la gestion du réseau de transport de l'électricité
SA	Zone synchrone
T_{min_LER}	A partir du passage en état d'alerte et durant l'état d'alerte, durée pendant laquelle chaque fournisseur de FCR doit s'assurer que ses unités fournissant des FCR avec des réservoirs d'énergie limités sont en mesure d'activer complètement et en continu les FCR.
FAT	Temps d'activation complète des FRR
ROCOF	Vitesse de variation de la fréquence

- [1] RÈGLEMENT (UE) 2017/1485 DE LA COMMISSION du 2 août 2017 établissant une orientation sur la gestion du réseau de transport d'électricité.
- [2] ENTSO-E, SPD, « Frequency Stability Evaluation Criteria for the Synchronous Zone of Continental Europe », 2016.
- [3] ENTSO-E, SPD – Inertie TF, « Inertia and Rate of Change of Frequency (RoCoF) », 2020.
- [4] ENTSO-E, « ENTSO-E HVDC Utilization and Unavailability Statistics 2021 », 2022.

2 Méthodologie de l'approche probabiliste pour le dimensionnement des FCR

2.1 Vue d'ensemble et description de la méthodologie

La méthodologie utilisée pour effectuer le dimensionnement probabiliste des FCR requis dans la zone synchrone de l'Europe continentale est basée sur un modèle probabiliste qui combine de manière aléatoire la source la plus importante de déséquilibre de puissance dans le système et simule l'écart de fréquence qui en résulte.

Le modèle fonctionne sur un grand nombre d'années simulées, afin d'obtenir des résultats probabilistes significatifs.

Conformément à l'article 153, paragraphe 2, point c), de SO GL, l'approche probabiliste du dimensionnement des FCR doit viser à réduire la probabilité d'insuffisance des FCR à un niveau inférieur ou égal à une fois tous les 20 ans.

En effet, chaque fois qu'un déséquilibre de puissance dépasse les FCR disponibles, les FCR sont considérées comme insuffisantes. En ce qui concerne l'écart de fréquence, une telle condition entraîne un écart de fréquence en régime permanent supérieur à l'écart de fréquence maximal en régime permanent (auquel les FCR doivent être complètement déployées).

De plus, puisque les FCR disponibles ont également un impact sur le transitoire de fréquence à la suite d'un changement soudain de déséquilibre de puissance, les conditions de « FCR insuffisantes » sont également les conditions dans lesquelles les résultats en matières de dynamiques de la fréquence sont fortement dégradées, c'est-à-dire les conditions dans lesquelles la fréquence dépasse des limites spécifiques en matière de pic de Δf ou de ROCOF.

Le but du modèle est donc de déterminer la quantité minimale de FCR qui permet de s'assurer que les conditions d'insuffisance des FCR (c'est-à-dire des conditions critiques) ne se produisent pas plus d'une fois tous les 20 ans.

Une condition critique est une série de minutes espacées d'un nombre paramétrique de minutes au plus et répondant à un ou plusieurs des critères suivants :

- a. La valeur absolue de l'écart de fréquence en régime permanent ($SS\Delta f$) telle que simulée par le modèle de simulation probabiliste dépasse l'écart de fréquence maximal en régime permanent (200 mHz pour l'EC)
- b. La valeur absolue du pic de fréquence atteint lors d'un transitoire dépasse les seuils admissibles.
- c. La valeur absolue du ROCOF dépasse le ROCOF initial maximum.

L'écart maximal de fréquence transitoire et le ROCOF initial maximal sont des paramètres définis par les GRT et rendus publics avant l'exécution de la méthodologie.

Le modèle commence avec le volume déterministe de FCR actuel. Le modèle itère ensuite en augmentant progressivement le volume de FCR jusqu'à ce que le nombre de conditions critiques dans l'écart de fréquence simulé soit tel qu'elles ne se produisent pas plus d'une fois tous les 20 ans.

Le modèle prend en compte la présence potentielle de LER (fournisseurs de FCR avec des réservoirs d'énergie limités) dans le calcul des résultats.

Le modèle de simulation probabiliste doit prendre en compte :

- Les pannes sur les centrales de production et les lignes HVDC. Des détails sur la façon dont le déséquilibre de puissance est calculé sont fournis dans la section 2.4.
- Le déséquilibre de puissance associé aux écarts de fréquence déterministes (DFD). Des détails sur la façon dont les DFD sont calculées sont fournis dans la section 2.2.
- Le déséquilibre de puissance associé à des écarts de fréquence de longue durée (LLFD). Des détails sur la façon dont les LLFD sont calculées sont fournis à la section 2.3.

Les DFD et LLFD sont calculées à partir des données historiques des écarts de fréquence, tandis que les déséquilibres de puissance dus aux pannes sont dérivés des statistiques de pannes.

Un déséquilibre de puissance global est généré de manière aléatoire à partir de ces trois différentes sources de perturbation. Cette perturbation de puissance est utilisée pour calculer les tendances d'écart de fréquence simulées, qui sont ensuite analysées pour vérifier si elles satisfont aux critères d'acceptation minimaux.

L'ensemble du modèle fonctionne avec une granularité temporelle d'une minute. Par conséquent, le déséquilibre de puissance d'entrée ainsi que les écarts de fréquence simulés sont des tendances avec 525600 minutes par an (la présence d'années bissextiles est négligée).

La vue d'ensemble du processus est présentée ci-dessous Figure 1.

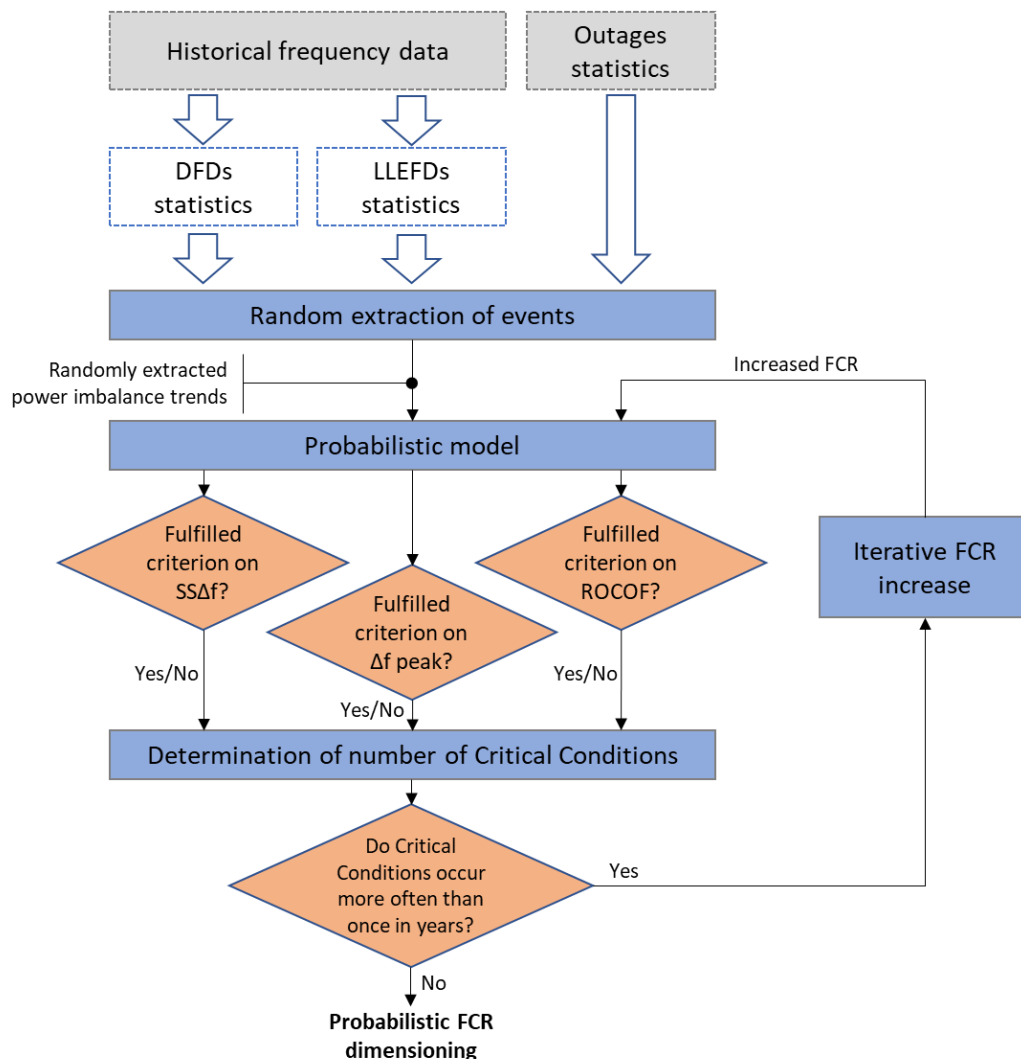


Figure 1: Vue d'ensemble du modèle adopté pour l'approche probabiliste pour le dimensionnement des FCR

Figure 2 fournit une description plus détaillée de la manière dont les statistiques d'entrée (fréquence, pannes) sont exploitées.

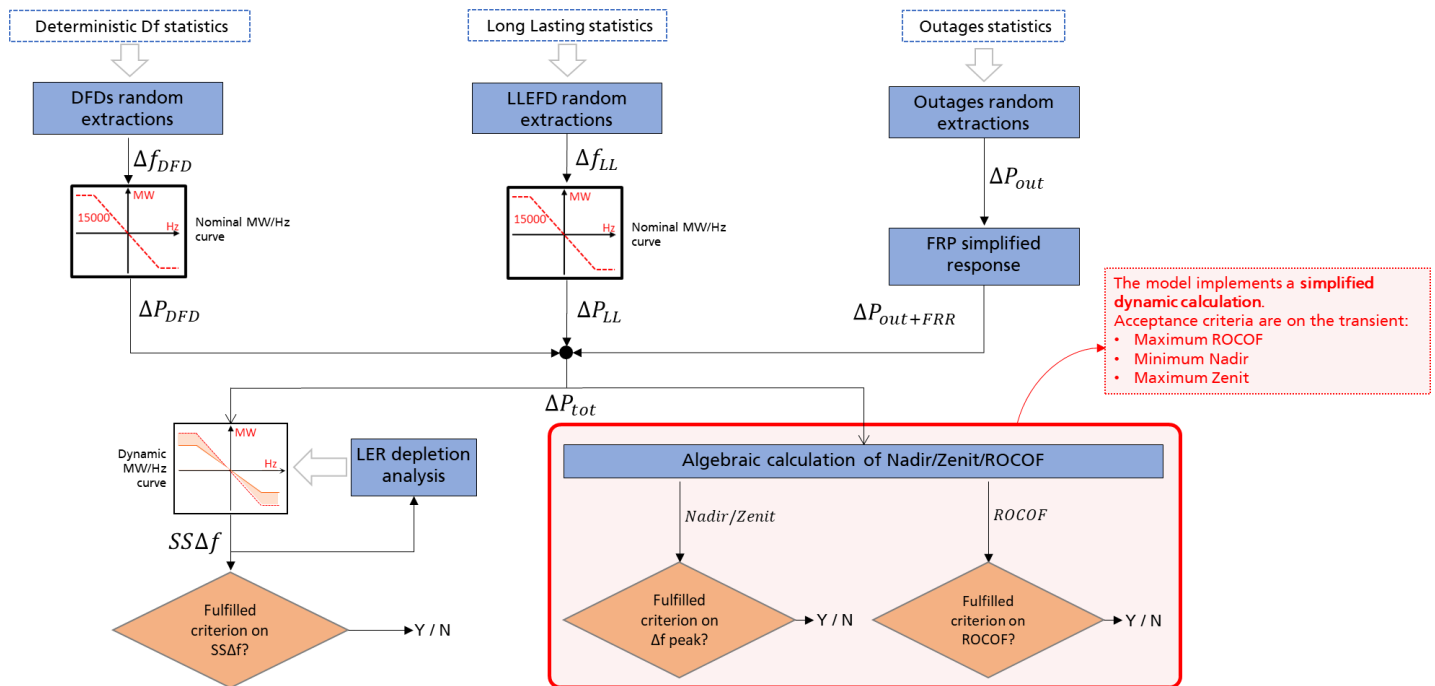


Figure 2: Vue d'ensemble détaillée du modèle adopté pour l'approche probabiliste pour le dimensionnement des FCR

2.2 Fonctionnalité pour les statistiques de DFDs et les extractions aléatoires de DFDs

Les DFD sont des déviations de fréquence induits par le marché qui se produisent régulièrement autour du changement d'unité de temps du marché (généralement le changement d'heure).

Dans le modèle, les statistiques des DFD sont directement calculées à partir des tendances de fréquence historiques avec une granularité de 1 minute. Le modèle extrait la fréquence autour du changement d'heure : sont considérés comme DFD tous les échantillons de fréquence dans une plage de minutes autour de la minute 0 (intervalle DFD).

Pour chaque année simulée, cette fonctionnalité vise à calculer une tendance de l'écart de fréquence dû aux DFD.

Cette tendance est égale à 0 pour toutes les minutes m qui n'appartiennent pas à l'intervalle DFD. Les minutes m appartenant à l'intervalle DFD sont tirées des tendances de fréquence historiques d'entrée.

Les DFD sont sélectionnées au hasard pour l'entrée du modèle, en examinant les jours homologues des années précédentes. Par exemple, les DFD à attribuer au 1er janvier d'une année simulée sont directement tirées des DFD qui se sont réellement produites dans le système au cours du 1er janvier d'une année passée sélectionnée au hasard (par exemple 2018). Ce mécanisme permet de conserver le schéma quotidien d'occurrence des DFD : par exemple, les DFD qui se produisent vers 6 heures du matin sont prises à la même heure le même jour d'une autre année.

Le choix aléatoire de l'année est biaisé en faveur des années les plus récentes. La probabilité de l'année écoulée est en effet calculée à l'aide de la formule suivante :

$$p_y = \frac{1}{N_{years}} e^{-\frac{y - y_{last}}{N_{years}}}$$

Où:

y_{last} est l'année la plus récente pour laquelle des données sont disponibles ;
 N_{years} est le nombre d'années pour lesquelles les tendances historiques sont disponibles.

La fonctionnalité aboutit à des tendances de fréquence composées de DFD extraites de manière aléatoire.

2.3 Fonctionnalité pour les statistiques LLFDs et les extractions aléatoires LLFDs

Aux fins du dimensionnement des FCR, la définition des déviations de fréquence de longue durée (LLFD) est une « condition avec un écart de fréquence moyen en régime permanent supérieur à une part de la plage de fréquences standard sur une période plus longue que le temps de restauration de la fréquence ».

L'outil analyse les tendances de fréquence acquises en entrée pour détecter toutes ces conditions.

L'analyse fonctionne selon les règles suivantes :

- Une moyenne mobile (d'une largeur égale au temps de restauration de la fréquence) analyse les données d'une année entière.
- Si l'écart de fréquence de la moyenne mobile dépasse un seuil égal à une part de la gamme de fréquences standard, une LLFD est détectée.
- La durée de la LLFD est calculée en fonction de sa fréquence moyenne. La LLFD dure aussi longtemps que sa fréquence moyenne dépasse une part de la gamme de fréquences standard. Cette moyenne est calculée à partir du début de la LLFD).

Une liste de toutes les LLFD détectées est créée. Chaque LLFD est associée aux informations suivantes :

- l'année d'occurrence ;
- les minutes pendant lesquelles elle a commencé ;

- la durée;
- la tendance de fréquence (vecteur de df caractérisant l'événement)

Ces statistiques sont ensuite exploitées pour générer une extraction aléatoire de LLFD à utiliser comme entrée par le modèle.

La procédure s'effectue sur l'ensemble des minutes de l'année, comme suit :

1. Elle décide si une LLFD commence ou non à la minute m .
Ce choix dépend de la probabilité qu'une LLFD commence à la minute générique m d'une journée (par exemple, à 14h15). Cette dernière probabilité est égale au rapport entre le nombre de LLFD commençant dans la minute m (dans la totalité de l'ensemble de données de fréquence) et le nombre de jours dans l'ensemble de données de fréquence ($365 * N_{years}$).
Si aucun événement LLFD n'est extrait, la procédure procède à l'analyse de la minute suivante ($m+1$).
Si une occurrence LLFD est extraite, la procédure se poursuit à l'étape 2.
2. L'année y à partir de laquelle sélectionner un LLFD à partir de la minute m est extraite de manière aléatoire. Pour cela, la probabilité suivante est utilisée :

$$p_{m,y} = \frac{1}{N_{m,years}} e^{-\frac{y-y_{last}}{N_{m,years}}}$$

Où est le nombre d'années pour lesquelles au moins un LLFD à partir de la minute $N_{m,years}m$ a été détecté et est l'année la plus récente pour laquelle des données sont disponibles ; y_{last}

3. La LLFD spécifique à utiliser est ensuite choisi dans l'ensemble de tous les LLFD commencées à la minute m et survenus au cours de l'année y (choisis à l'étape 2). Le choix aléatoire de la LLFD spécifique à utiliser est basé sur une distribution uniforme : toutes les LLFD de l'ensemble ont la même probabilité d'être choisies.
4. La LLFD sélectionnée est affectée à la tendance. Si la LLFD dure k minutes, la tendance de fréquence de la LLFD est attribuée à l'intervalle compris entre la minute m et la minute $m+k-1$.
5. La procédure revient à l'étape 1 pour la minute $m+k$.

La fonctionnalité permet d'obtenir des tendances de fréquence composées de LLFD extraites de manière aléatoire.

2.4 Fonctionnalité des extractions aléatoires des pannes et calcul des déséquilibres de puissance associés

Les pannes sont fournies en entrée déjà sous forme statistique : chaque événement potentiel est associé à sa :

- perte de puissance : changement de puissance au moment de l'événement ;
- probabilité d'occurrence : nombre moyen d'événements au cours d'une année.

L'extraction aléatoire des pannes utilise en entrée la liste des événements possibles.

L'extraction fonctionne par cycle sur toutes les minutes de l'année. Pour chaque minute m , tous les événements possibles sont testés pour vérifier s'ils se produisent ou non.

Pour chaque événement possible v , une valeur aléatoire dans $[0, 1]$ est générée et elle est comparée à la probabilité que l'événement se produise dans la minute ($p_{v,m}$):

$$p_{v,m} = 1 - e^{-\frac{FR}{365*24*60}}$$

Où FR : *Failure Rate* est le nombre moyen d'occurrences au cours d'une année pour une panne spécifique.

Si la valeur générée aléatoirement est inférieure à $p_{v,m}$, une panne se produit. Cela signifie que le système doit faire face au déséquilibre de puissance associé à l'événement.

La quantité totale de déséquilibre de puissance dans chaque minute est égale à la somme des déséquilibres de puissance de tous les événements qui sont extraits dans cette minute.

Le résultat du calcul est une tendance annuelle au déséquilibre de puissance en raison des pannes extraites.

Les effets des FRR sont appliqués à une telle tendance annuelle calculée du déséquilibre de puissance. Les FRR sont modélisées comme un système dynamique simplifié de 1er ordre. Les déséquilibres de puissance sont ramenés à zéro par les FRR avec une constante de temps égale à 1/3 de la FAT des FRR.

Après environ 3 constantes de temps, le transitoire est terminé, cette condition simule les effets de restauration des FRR pour équilibrer le déséquilibre de puissance dû aux pannes au sein du FAT des FRR.

La Figure 3 suivante montre un exemple des effets des FRR sur les déséquilibres de puissance dus aux pannes.

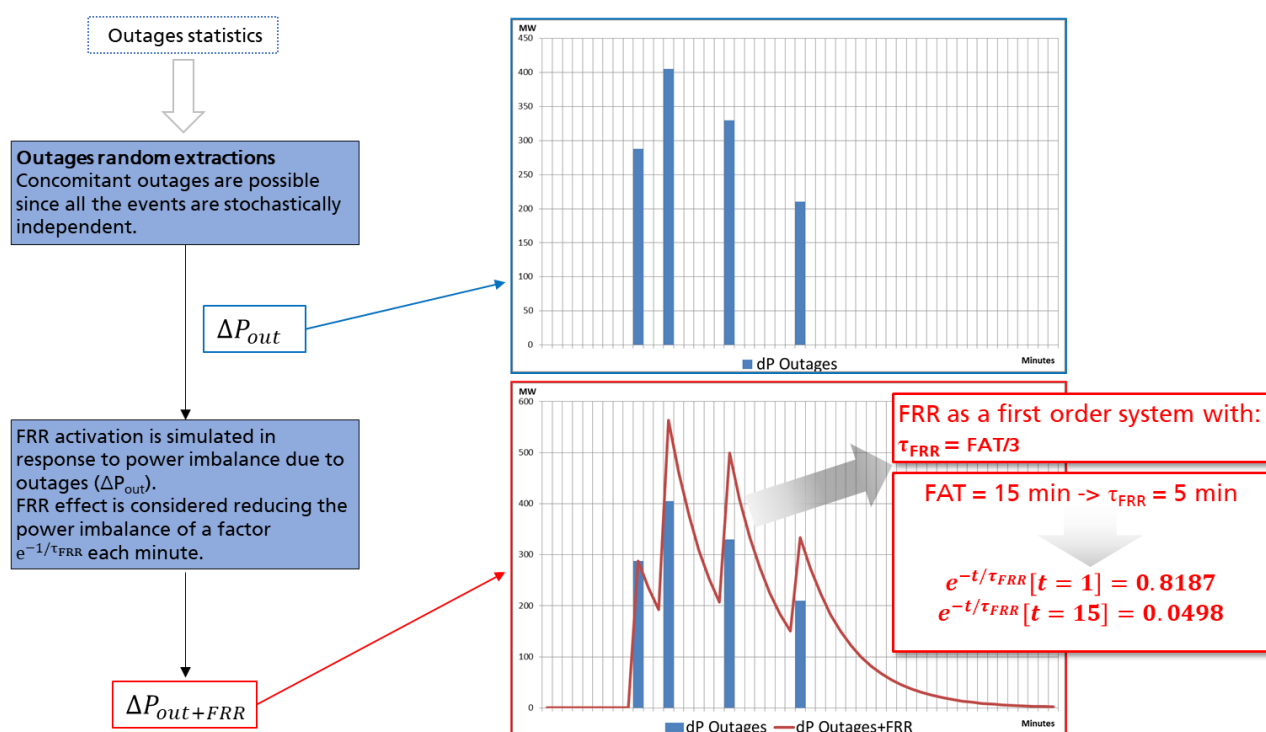


Figure 3: Exemple d'effets des FRR sur le déséquilibre de puissance dû aux pannes (un FAT de 15 min n'est qu'illustratif)

La fonctionnalité résulte donc en tendances de déséquilibre de puissance en raison des pannes et de l'activation des FRR en conséquence.

2.5 Fonctionnalité de combinaison des DFD, LLFD et pannes extraites pour générer des tendances globale de déséquilibre de puissance

La combinaison sources dans les données d'année s'effectue en matière de déséquilibre de puissance : le déséquilibre de puissance dû aux pannes est combiné au déséquilibre de puissance correspondant aux DFD et LLFD.

Afin de convertir les tendances d'écart de fréquence en tendances annuelles équivalentes de déséquilibre de puissance, un module de conversion est utilisé. Le module effectue la conversion à l'aide d'une courbe MW/Hz (donnée en entrée). En d'autres termes, les écarts de fréquence dus aux DFD et aux LLFD sont convertis en déséquilibres de puissance en supposant le facteur de conversion qui était en place au moment de leur apparition réelle. Ce facteur de conversion est la dépendance MW/Hz avec un volume de FCR égal à la valeur présente l'année où les données sont référencées (par exemple, 3000 MW pour les années jusqu'en 2024). Une telle dépendance en MW/Hz ne change pas au cours de l'itération car elle est liée aux tendances historiques des données.

Le déséquilibre de puissance global est obtenu en additionnant les trois déséquilibres de puissance (dus aux LLFD, aux DFD et aux pannes).

Pour éviter les chevauchements entre les DFD et les LLFD, la priorité est donnée aux LLFD. Les LLFD et les DFD ne sont pas additionnées, mais - à chaque minute - la présence d'une LLFD l'emporte sur la présence d'une DFD.

2.6 Modèle pour calculer l'écart de fréquence en régime permanent toutes les minutes

Cette fonctionnalité simule progressivement le fonctionnement du système (en matière de contrôle de fréquence) sur les 525600 minutes d'une année.

Pour chaque minute m , il calcule la déviation de fréquence en régime permanent simulée ($SS\Delta f_m$) en considérant comme entrée :

- Le déséquilibre de puissance global : ΔP_m
- L'énergie de réglage actuelle : $reg.en.m$

L'énergie de réglage dépend du volume de FCR dans l'itération actuelle et de l'épuisement éventuel des LER présents dans la fourniture des FCR.

Le résultat de la fonctionnalité est la tendance de la déviation de fréquence en régime permanent simulée ($SS\Delta f$).

Une telle variable est modélisée à l'aide d'une courbe MW/Hz, comme le montre l'exemple de la Figure 4.

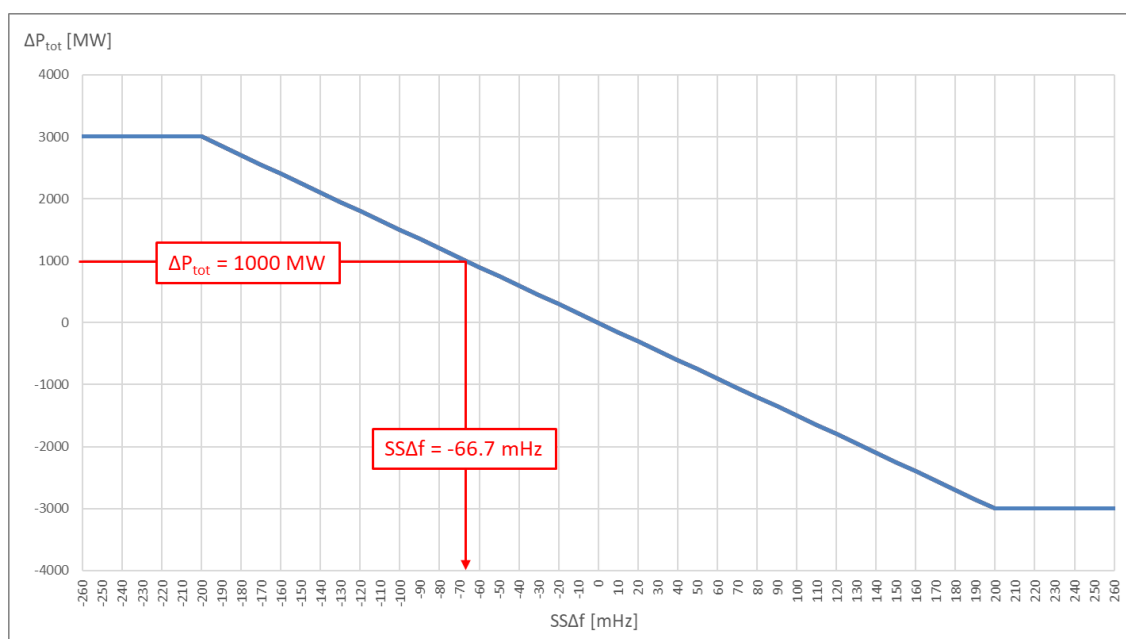


Figure 4: Exemple d'utilisation d'une courbe MW/Hz de 3000 MW/Hz pour calculer $SS\Delta f$ à partir de ΔP_{tot}

Une modification de l'énergie de réglage ($reg.en.m$) entraîne une déviation de fréquence différente, à partir du même déséquilibre de puissance.

L'énergie de réglage standard dépend des FCR fournis. Par exemple, si dans l'itération actuelle une condition avec un volume de FCR = 3000 MW est prise en compte, l'énergie de réglage standard ($reg.en_{standard}$) est égale à 15000 MW/Hz (c'est-à-dire 3000 MW de FCR avec activation complète à 0,2 Hz).

Si un épuisement des LER est détecté, l'énergie de réglage ($reg.en.m$) diminue et la courbe modélisée doit être redimensionnée.

Lorsque les réservoirs des LER sont épuisés, leur contribution en matière de FCR est en effet considérée comme perdue instantanément (ils ne peuvent plus fournir de puissance de réglage à la hausse ou à la baisse). Seuls les fournisseurs non LER sont encore disponibles pour réguler le système. Étant donné un déséquilibre de puissance d'entrée, l'écart de fréquence qui en résulte est donc plus important que dans la situation où tous les LER sont disponibles.

Cette condition est modélisée avec une réduction de l'énergie de réglage (c'est-à-dire un redimensionnement de la courbe MW/Hz) égale à la proportion de FCR perdue en raison de l'épuisement des LER. Cette proportion correspond à la part de LER.

Par exemple, si la part de LER est de 50 %, une fois que les LER sont épuisés, l'énergie de réglage est réduite d'un facteur 2 (le MW/Hz est redimensionné d'un facteur 2). Cela signifie que l'écart de fréquence associé à un déséquilibre de puissance est doublé par rapport à la condition standard.

Ce qui suit Figure 5 montre la réduction dans un tel exemple.

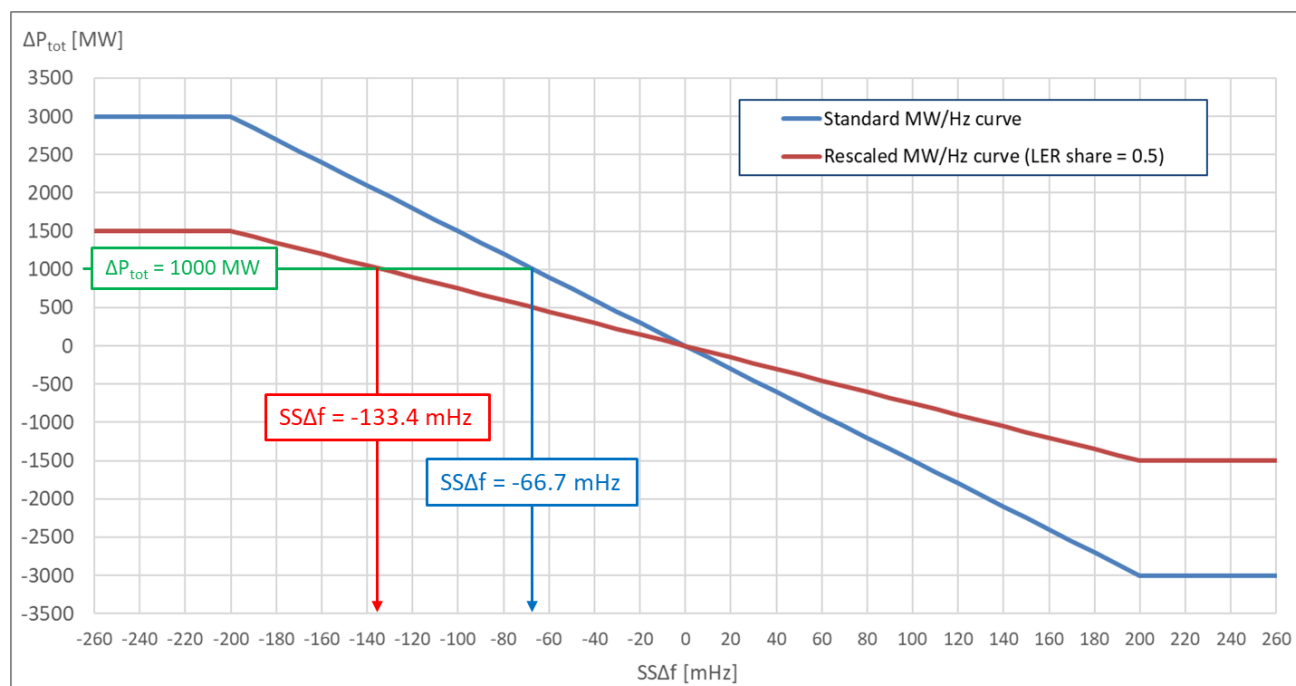


Figure 5: Exemple de redimensionnement de la courbe MW/Hz d'un facteur 2

Le modèle met à jour à chaque minute m l'énergie de réglage de courant ($reg.en_m$). La formule est la suivante :

$$reg.en_m = \begin{cases} reg.en_{standard} \cdot (1 - LER \text{ share}), & \text{si les LER sont épuisés} \\ reg.en_{standard}, & \text{si les LER ne sont pas épuisés} \end{cases} \quad (1)$$

Pour vérifier si les LER sont épuisés ou non, le stock d'énergie du réservoir LER est calculé à chaque minute. Le Figure 6 montre schématiquement le processus par lequel l'énergie de réglage est modifiée à la suite de l'épuisement des LER.

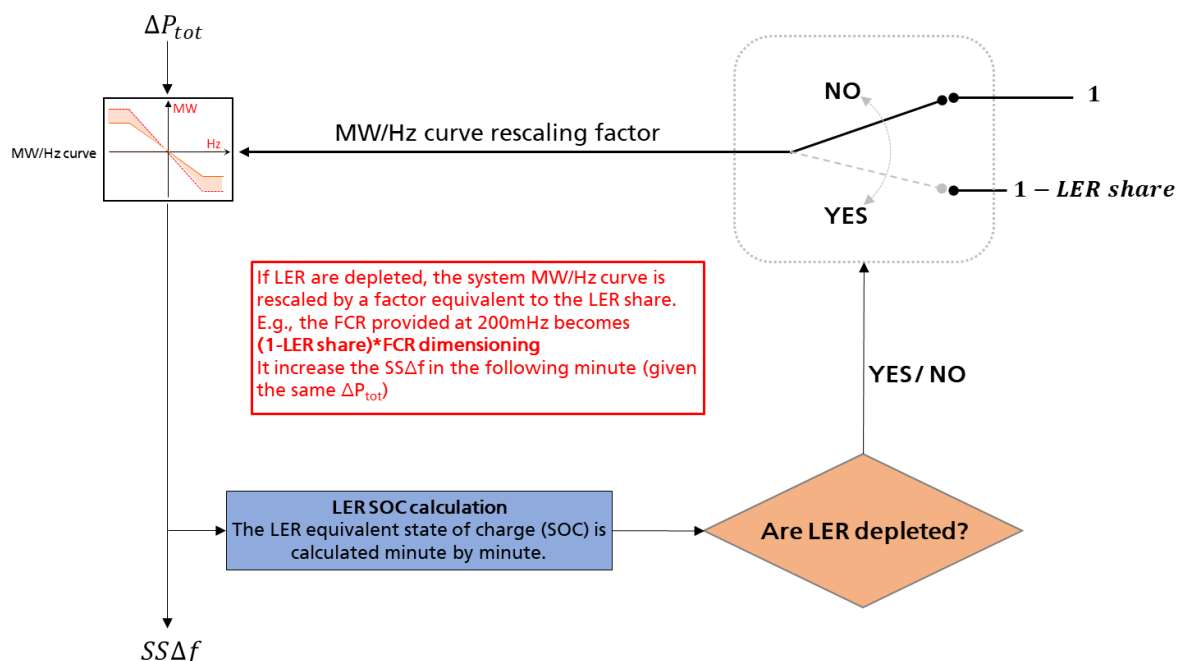


Figure 6: Procédure schématique de modification de la courbe MW/Hz à la suite de l'épuisement des LER

Les effets combinés de la stratégie de recharge et de la déviation de fréquence simulé peuvent amener les LER à se restaurer à la suite d'un épuisement. Lorsque cela se produit, l'énergie de réglage revient à son état standard (par exemple, 15000 MW/Hz si FCR = 3000 MW).

Les LER sont considérés comme sans limitations d'énergie tant que la fréquence reste à l'intérieur de la plage de fréquences standard.

Si un dépassement continu de la plage de fréquences standard comprend le déclenchement d'un état d'alerte¹, l'énergie activée et l'énergie résiduelle dans le réservoir sont calculées à partir du déclenchement de l'état d'alerte.

Les LER s'épuisent lorsque leur réservoir atteint le niveau d'énergie maximum ou minimum. La capacité du réservoir dépend de la durée minimale d'activation à laquelle les LER sont soumis.

2.7 Modèle pour calculer la dynamique de la déviation de fréquence à chaque minute

Les caractéristiques de la fréquence au cours d'un transitoire - telles que le pic de fréquence (nadir ou zénith) et le ROCOF - doivent être prises en compte pour le processus de dimensionnement des FCR (Figure 8).

¹ Un état d'alerte est déclenché si au moins l'une des conditions suivantes se produit :

- La valeur absolue de l'écart de fréquence simulé en régime permanent dépasse pendant 5 minutes consécutives la moitié de l'écart de fréquence maximal en régime permanent.
- La valeur absolue de l'écart de fréquence simulé en régime permanent dépasse pendant 15 minutes consécutives la plage de fréquences standard.

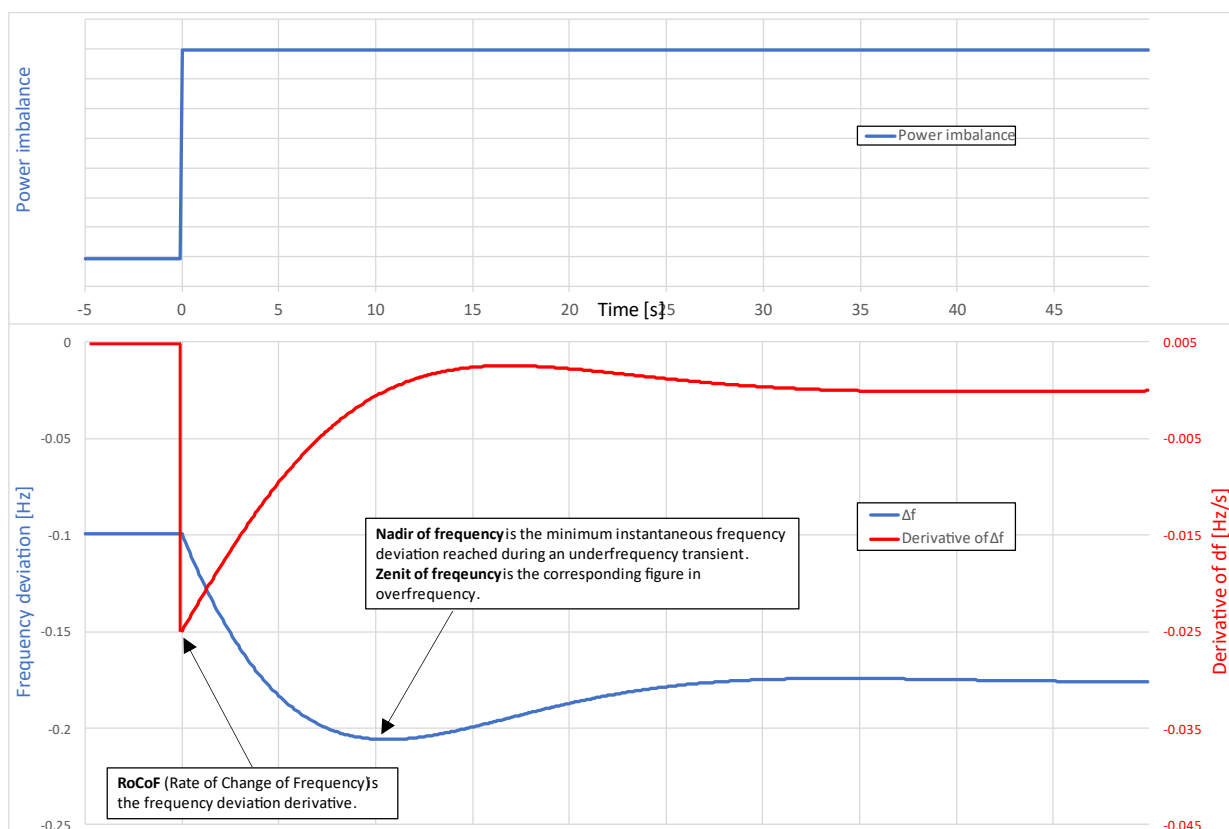


Figure 7: Exemple de caractéristiques de transitoires de fréquence et principaux indicateurs de performance : zénith, nadir et RoCoF

Étant donné le grand nombre de transitoires à calculer pour l'exercice de dimensionnement, il n'est pas possible d'effectuer une simulation dynamique réelle à chaque minute. Il est donc nécessaire d'adopter un calcul algébrique du zénith/nadir et du ROCOF à partir du modèle agrégé à jeu de barres unique décrit dans Figure 8, sur la base des considérations de [2].

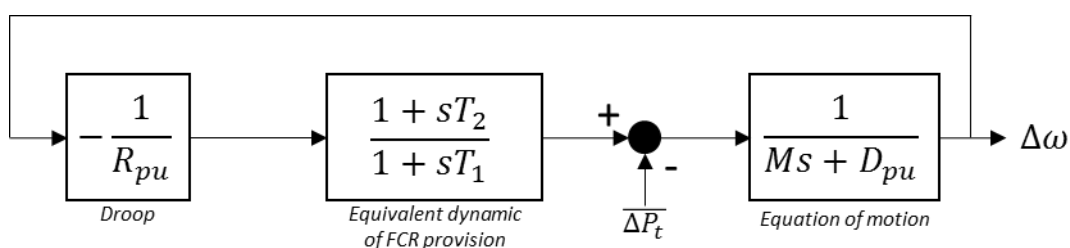


Figure 8: Modèle dynamique simplifié à jeu de barres unique du système électrique d'EC

Où:

- **Équation du mouvement** : représente la réponse des systèmes de puissance en matière d'inertie et d'autorégulation de la charge ;
- **Pendre**: représente la réponse statique des FCR (voir Figure 4);
- **Dynamique équivalente de la fourniture de FCR** : représente les effets combinés moyens des réponses dynamiques fournies par tous les fournisseurs de FCR.

Les paramètres présentés dans la Figure 8 sont donc :

$R_{pu} = \frac{1}{En. Reg.} \cdot \frac{P_n}{f_n} [pu_P/pu_{\Delta f}]$	Statisme en pu (<i>En. Reg.</i> est associé à une certaine courbe MW/Hz et elle est exprimée en [MW/Hz])
$T_1 [s]$	<i>Pole time constant</i> de la dynamique moyenne des FCR
$T_2 [s]$	<i>Zero time constant</i> de la dynamique moyenne des FCR
$D_{pu} = \frac{D}{f_n} [pu_P/pu_{\Delta f}]$	L'autorégulation de la charge (<i>D</i> est exprimée en [pu/Hz])
$M = 2 \cdot H [s]$	Moment cinétique équivalent du système (2*Inertie)
$P_n [MW]$	Charge au niveau de la zone synchrone
f_n	Fréquence nominale (50 Hz)

La sortie du diagramme ($\Delta\omega$) est l'écart de fréquence en pu.

Compte tenu de la dynamique réelle et complexe de la zone synchrone, avec ce modèle, des approximations significatives sont introduites, car chaque fournisseur (et chaque technologie) a ses propres particularités en ce qui concerne la dynamique de déploiement des FCR. Une telle variété de réponses est simplifiée avec un seul modèle dynamique de 2e ordre afin de dériver les formules algébriques pour Zenit/Nadir et ROCOF. Le ROCOF est évalué comme le ROCOF initial.

De telles formules sont dérivées en supposant qu'une perturbation par étapes est appliquée sur le modèle présenté dans Figure 8.

De cette façon, une relation algébrique entre la perturbation et les paramètres du système peut être utilisée dans le modèle probabiliste itératif.

Le calcul des résultats dynamiques des déviations de fréquence est basé sur la même granularité de 1 minute adoptée pour les calculs en régime permanent. Cela signifie que toutes les variables (par exemple, le déséquilibre de puissance et la déviation de fréquence à l'état stationnaire) continuent de changer minute après minute.

Le pic de fréquence transitoire (zénith/nadir) et le ROCOF sont donc calculés sur une base de 1 minute.

Les données d'entrée d'un tel calcul sont la différence de déséquilibre de puissance entre deux minutes suivantes.

2.8 Évaluation des critères d'acceptabilité de la déviation de fréquence simulée qui en résulte

Un dimensionnement des FCR est considéré comme acceptable s'il garantit que les FCR sont insuffisants au plus une fois tous les 20 ans.

La première étape consiste à évaluer si une minute spécifique est considérée comme une minute acceptable. Une minute est considérée comme une minute acceptable si elle remplit les trois critères suivants :

- La valeur absolue de l'écart de fréquence simulé en régime permanent ne dépasse pas l'écart de fréquence maximal en régime permanent ;
- La valeur absolue de l'écart de fréquence instantané maximum/minimum pendant les transitoires ne dépasse pas les seuils définis par les GRT ;

- La valeur absolue du ROCOF n'excède pas le ROCOF initial maximum tel que défini par les GRT

Une minute est considérée comme une minute non acceptable si au moins un critère n'est pas rempli.

Pour interpréter le critère « une fois tous les 20 ans », le concept de « condition critique » est alors introduit : une condition critique est une série de minutes non acceptables espacées les unes des autres d'un nombre paramétrique de minutes (par exemple, 15 minutes).

Une seule condition critique pourrait alors être faite par plusieurs minutes consécutives avec un ou plusieurs critères non remplis.

Le choix d'une telle approche est lié au fait que la combinaison de perturbations provoquant une condition où un ou plusieurs critères (SSΔf / zénith/nadir / ROCOF) ne sont pas remplis pourrait persister pendant plusieurs minutes.

Le critère « une fois tous les 20 ans » est appliqué sur le nombre de conditions critiques plutôt que sur des minutes uniques.

Le dimensionnement des FCR vise donc à faire en sorte que le nombre de Conditions Critiques détectées soit inférieur ou égal à 1/20 du nombre d'années simulées.

Par exemple, si 200 ans sont simulés par le modèle, pas plus de 10 (200/20) conditions critiques ne doivent se produire.