



Le réseau
de transport
d'électricité

Atelier technique n°2/2

Concertation Grid forming - Stockage non synchrone type C et D

.....
17 novembre 2025

Public



Rappel GT du 09 octobre - Calendrier de concertation



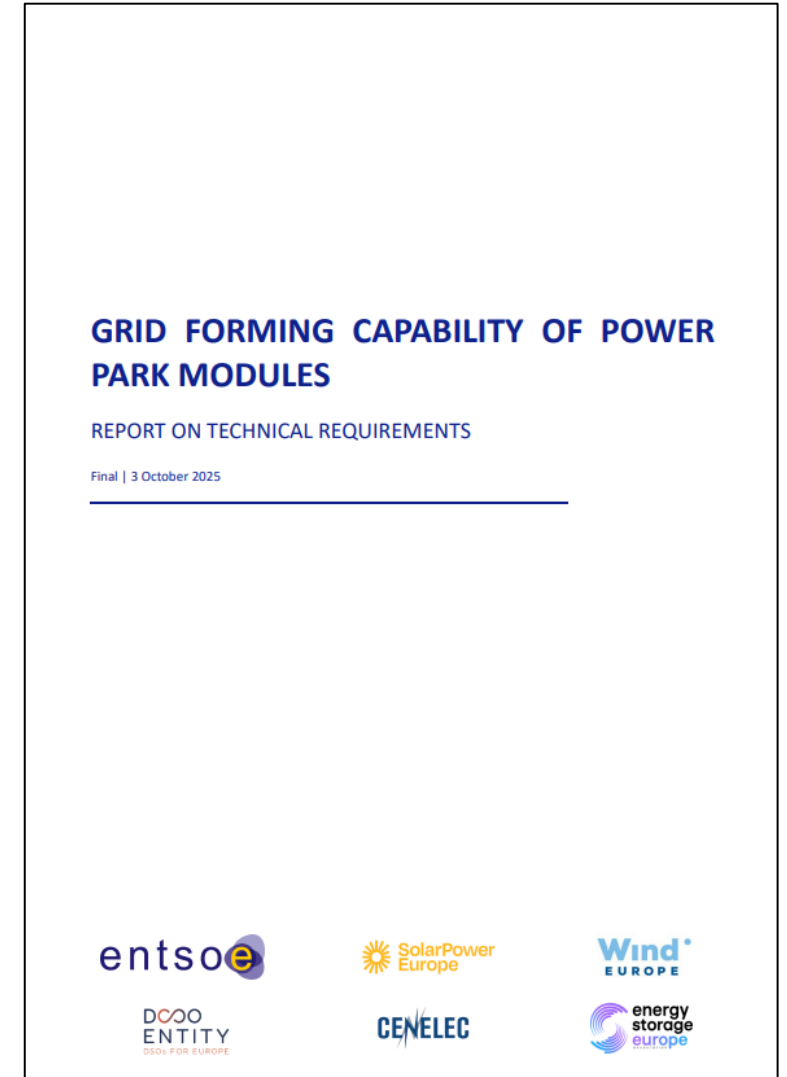
Documents soumis à la concertation :

- Description de l'exigence Grid forming qui sera intégrée à la trame de cahier des charges capacités constructives. Version français et anglais.
- Fiche de contrôle de conformité - Simulation (fiche I18)
- Fichier excel pour les retours à la contribution
- Les ateliers techniques du **04/11** (10h) et **17/11** (14h) permettront d'échanger sur la description technique de la proposition :
→ **Merci de faire suivre l'invitation à toute personne en charge du contrôle de conformité et/ou des modèles de simulation à fournir lors de la mise en service de l'unité de stockage**



Le rapport ENTSOE sur les capacités grid forming dont les exigences ont été reprises est disponible ici : [lien](https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Publications/SOC/20251104_GRID_FORMING_CAPABILITY_OF_POWER_PARK_MODULES.pdf)

https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Publications/SOC/20251104_GRID_FORMING_CAPABILITY_OF_POWER_PARK_MODULES.pdf





1. Présentation exigences techniques

2. Réponses aux contributions

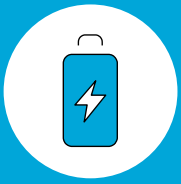
3. Test des enveloppes sur des BESS GFM issus de différents fournisseurs



1. Présentation exigences techniques

2. Réponses aux contributions

3. Test des enveloppes sur des BESS GFM issus de différents fournisseurs



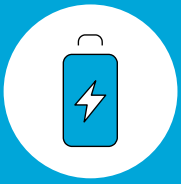
Grid Forming /
stockeur

Tirer le meilleur parti du matériel sans surdimensionnement

Le grid forming: un comportement source de tension derrière une impédance

Ce comportement sera validé par une série d'exigence et de tests.

Une installation est grid forming, si et seulement si l'ensemble des onduleurs est grid forming.



La caractérisation du comportement Grid forming, s'opposer aux variations du réseau

- L'injection instantanée de courant actif suite à un saut d'angle de tension du réseau.
- L'injection instantanée de courant réactif suite à une variation d'amplitude du réseau.
- La fourniture d'inertie lors de variation de fréquence du réseau.
- La fourniture de puissance active lors de variation d'impédance du réseau.
- Un contrôle de conformité à partir de gabarit à respecter pour différents tests et différents points de fonctionnement.
- Suppression de l'exigence d'injection de courant réactif sur défaut existante. (le GFM va réagir en fonction de l'impédance du défaut)

Des informations supplémentaires nécessaires sur le comportement de l'installation

Lors des défauts, symétriques et asymétriques.



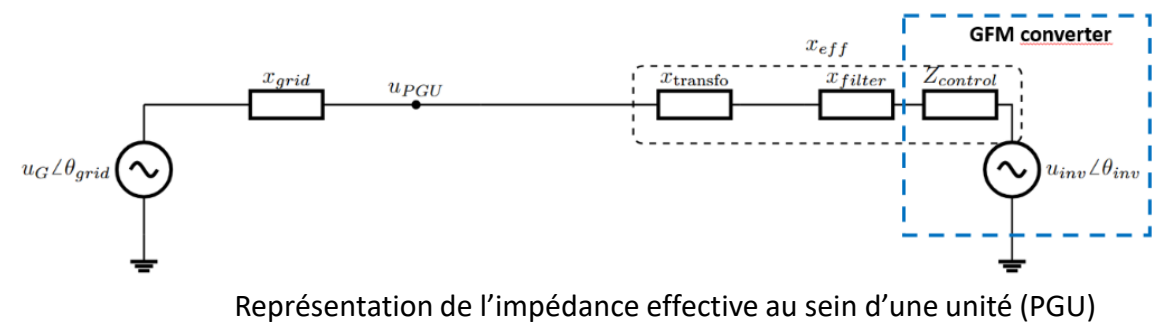
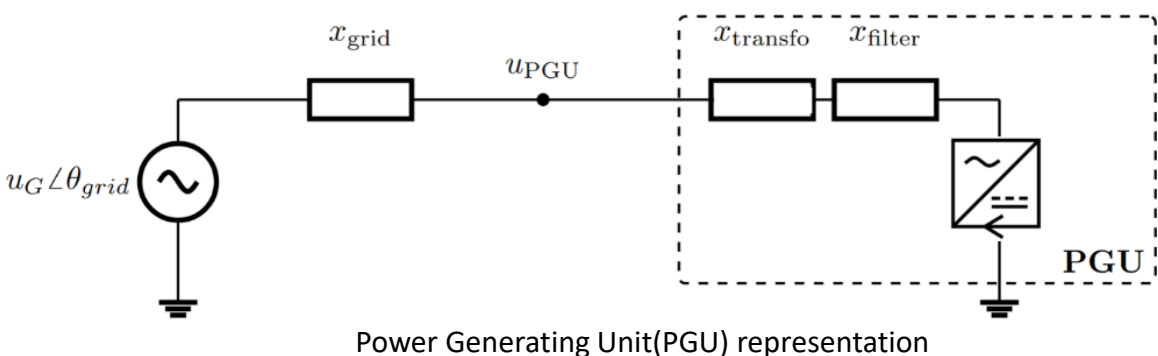
Le grid forming pour le stockage est une solution pour améliorer la stabilité entre convertisseurs

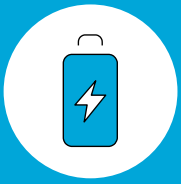
Un comportement « idéal » modélisé ainsi

$$Z_{eff} = Z_{filter} + Z_{control} + Z_{transfo}$$

Objectifs – intégrer le grid forming aux nouvelles installations de stockage pour limiter les phénomènes d’instabilité entre convertisseurs

- Rte intégrerait l’exigence dans les limites de capacités en puissance (dimensionnement du convertisseur) et en énergie (dimensionnement de la batterie). C’est cette approche qui a aussi été utilisée dans la proposition de mise à jour du code de raccordement des producteurs/stockeurs RfG V2.
- **Cela évite tout surdimensionnement du système de stockage et les surcoûts.**





Tests réalisés avec les services systèmes désactivé (contrôle de tension et réglage de fréquence)

Saut de phase :

Objectifs : simuler un saut de phase qui amène à une variation de puissance active d'au moins 30%

- Vérifier que 50% de la puissance active pic est fournie au bout de 10 ms.
- le courant actif doit se stabiliser autour de la valeur finale dans une bande de tolérance égale à la plus grande des deux valeurs suivantes : $\pm 5\%$ du courant nominal et $\pm 5\%$ of $\Delta i_{P,PGU,peak}$.
- Test effectué pour différentes conditions (point de fonctionnement, mais aussi impédance du réseau)
- Les courbes de puissance active devront être comprises dans les enveloppes.
- Les courbes **ne devront pas** présenter d'oscillation avec un amortissement inférieur à 50%

Saut d'amplitude :

Objectifs : simuler un saut de d'amplitude qui amène à une variation de puissance réactive d'au moins 15%

- Vérifier que 90% du courant total est fournie au bout de 10 ms.
- le courant réactif doit se stabiliser autour de la valeur finale dans une bande de tolérance égale à la plus grande des deux valeurs suivantes $\pm 5\%$ du courant nominal et $\pm 5\%$ of $\Delta i_{Q,PGU}$.
- Test effectué pour différentes conditions (point de fonctionnement, mais aussi impédance du réseau)
- Les courbes de puissance réactive devront être comprises dans les enveloppes.
- le courant réactif doit s'établir dans la bande de tolérance autour de sa valeur finale en 80 ms après l'évènement
- Les courbes **ne devront pas** présenter d'oscillation avec un amortissement inférieur à 50%



Tests réalisés avec les services systèmes désactivé (contrôle de tension et réglage de fréquence)

Limitation des variations de fréquence

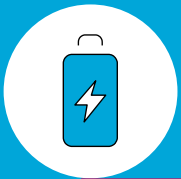
Objectifs : simuler une variation de fréquence

- 500mHz/sec à la hausse et à la baisse pendant 3 secondes.
- 2Hz/sec à la hausse et à la baisse pendant 500 ms
- Test effectué pour différentes conditions (point de fonctionnement, mais aussi impédance du réseau)
- Les courbes de puissance active devront être comprises dans les enveloppes.
- Les courbes **ne devront pas** présenter d'oscillation avec un amortissement inférieur à 50%

Variation d'impédance du réseau:

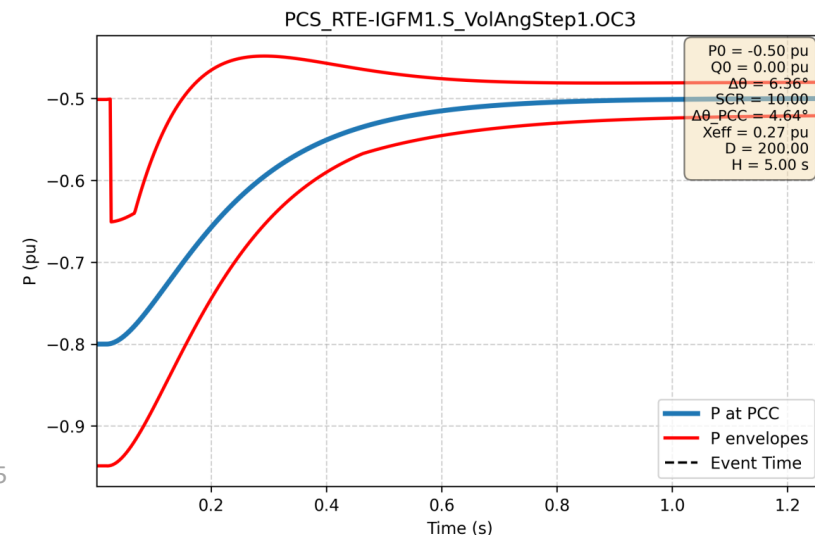
Objectifs : simuler un changement de topologie et vérifier que la puissance est fournie rapidement

- Vérifier que 50% de la puissance active pic est fournie au bout de 10 ms.
- le courant actif doit se stabiliser autour de la valeur finale dans une bande de tolérance égale à la plus grande des deux valeurs suivantes : $\pm 5\%$ du courant nominal et $\pm 5\%$ of $\Delta i_{P,PGU,peak}$.
- Test effectué pour différentes conditions (point de fonctionnement, passage d'un SCR de 2 à 10 et inversement)
- Les courbes de puissance active devront être comprises dans les enveloppes.
- Les courbes **ne devront pas** présenter d'oscillation avec un amortissement inférieur à 50%



Réglage des paramètres pour créer les enveloppes

- X_{eff} , SCR_{min} , SCR_{max} sont définis
- Plusieurs ensemble de valeurs sont fournis pour H et D afin de définir des comportements suramortis et sous-amortis.
 - $H \in [H_{base}, H_{base}(1 - \delta_H), H_{base}(1 + \delta_H)]$
 - $D \in [D_{base}, D_{base}(1 - \delta_H), D_{base}(1 + \delta_H)]$
 - La marge prise pour ces valeurs est de $\delta_H=20\%$
- Marge aux enveloppes supérieure et inférieure ($Margin_{up}$ & $Margin_{down}$) de la réponse théorique. Leur valeur est égale à 30-50%
- Puissance active maximale et minimale pouvant être atteinte transitoirement par l'unité: P_{max} , P_{min}
- Bande de tolérance : $5\%I_n$

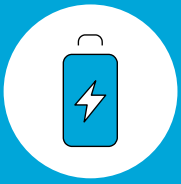




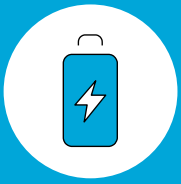
1. Présentation exigences techniques

2. Réponses aux contributions

3. Test des enveloppes sur des BESS GFM issus de différents fournisseurs



- Le document de RTE porte exclusivement sur le **stockage non synchrone**, en particulier les batteries, et ne couvre qu'une partie des exigences pour lesquelles RTE et les acteurs disposent déjà d'une bonne maîtrise. Certaines exigences importantes — notamment la **passivité de l'installation** et le **comportement en court-circuit** — ne disposent pas encore de critères de conformité établis.
- Les exigences proposées resteront globalement **alignées avec le futur code RfG 2.0**, sauf changement majeur. Les éventuelles différences concernent uniquement la comparaison avec le document ENTSO-E. Cette concertation vise uniquement les installations de types **C et D** connectées au **réseau de transport**, et ne traite pas de l'alignement avec le document EU-DSO, qui s'adresse aux réseaux de distribution.
- Le document ENTSO-E a déjà intégré les travaux CENELEC liés au **chapitre 3 sur le contrôle de conformité**. Les comportements visés par cette concertation concernent principalement la **force du réseau**, et ne nécessitent donc pas de surdimensionnement en puissance ou en énergie. Un **comportement inertiel** n'est exigé que lorsqu'il peut être fourni sans interférer avec d'autres services.
- Enfin, une modification de formulation est envisagée pour la partie « **source de tension** » : comme dans le projet RfG 2.0 et le document ENTSO-E, l'installation doit se comporter, dans les premiers instants après une perturbation, comme si **la tension et l'angle interne du convertisseur étaient constants**. Le texte sera ajusté pour le refléter plus clairement.

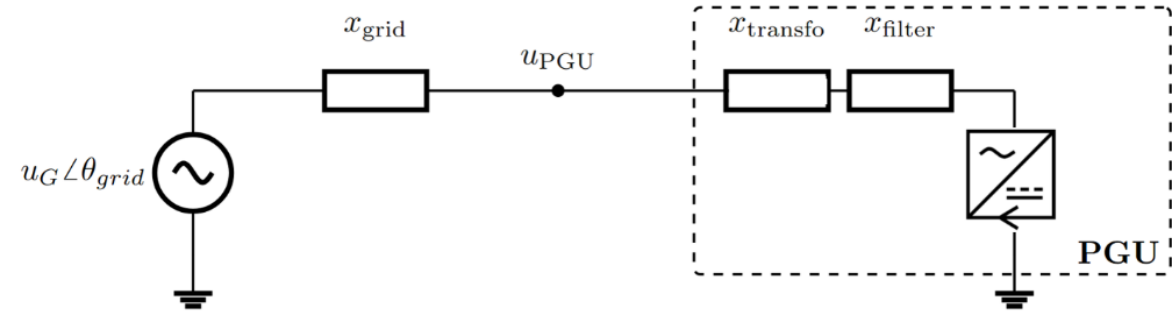


Commentaire :

- Pouvez-vous nous expliciter quel sera le point de mesure des grandeurs physiques ?

Réponse RTE :

Les mesures se feront au point de connexion du PGU.

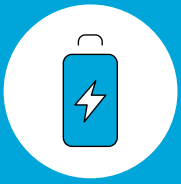


Commentaire :

- Comment RTE va définir localement les besoins pour adapter certaines exigences (T_r , ppm, x_{eff} , la valeur du courant en CC) au cahier des charges du raccordement stockage non synchrone selon la géographie de son raccordement ?

Réponse RTE :

Le besoin est pour l'instant générique, et nous ne prévoyons pas à court terme d'adapter les paramètres.



Commentaire :

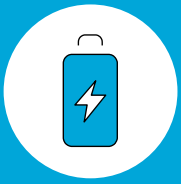
- Il est indiqué dans 2_Fiche I_Simulation_GFM_vFrançais : « *Même si cela n'est pas explicitement mentionné dans l'exigence, tous les comportements de l'onduleur sont limités par le courant maximal de l'onduleur et par la capacité d'énergie disponible dans l'unité de stockage* ». Quelle est la définition exacte de 'capacité d'énergie disponible' ? S'agit-il de capacité installée en début de vie (BOL), de la capacité utile AC au POC en début de vie (BOL) ? Cette caractéristique n'est pas purement définie dans une fiche technique d'un stockage non-synchrone (contrairement au courant maximum d'un onduleur) à comment allez-vous vérifier l'authenticité de cette valeur déclarée par le producteur ?

Commentaire :

- La capacité d'énergie disponible dans l'unité de stockage n'est pas une grandeur figée dans la durée de vie de l'actif stockage. Dans un cas hypothétique, au bout de 5 ans, la capacité d'énergie a diminué de 15% et la puissance active onduleur va derater à des niveaux de SOC (bas et hauts) plus restreints qu'en début de vie (protection par BMS de la batterie). Comment allez-vous gérer cela pour vérifier au fil des années que le stockage respecte toujours bien ou non les exigences Grid forming dans les limites max de ce qu'il peut fournir ?

Réponse RTE :

Le comportement attendu s'adaptera à la baisse de la capacité maximale de la batterie. Si l'unité devait avoir un certain comportement et qu'elle ne peut pas faire à cause du SoC, alors le stockeur devra le justifier.



Commentaire :

- Selon les géographies il est possible que l'actif soit soumis à des exigences plus contraignantes : comment le producteur pourrait connaître ces contraintes et anticiper les contraintes sur son projet ?

Réponse RTE :

Il n'est pas possible d'anticiper les « contraintes », puisque les variations, en particulier les variations rapides d'angle et de tension sont dues aux événements sur le réseau de transport.

Néanmoins, les sollicitations resteront faibles dans tous les cas, cf. étude suivante (oct.2025) : [\(PDF\) Assessment of the Solicitation Induced by Grid Forming Control on Battery Energy System Storages](#)

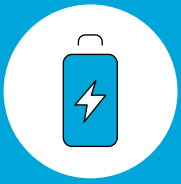
https://www.researchgate.net/publication/396388769_Assessment_of_the_Solicitation_Induced_by_Grid_Forming_Control_on_Battery_Energy_System_Storages

Commentaire :

- Remarque plus qu'une question : RTE n'envisage-t-il pas de modèle de rémunération pour ce nouveau service rendu par le stockage non synchrone ? (ex. comme cela existe pour les Services Systèmes Tension)
- Cela pourrait permettre aux producteurs d'être plus moteurs et volontaires pour raccorder des systèmes de stockage en conformité des exigences Grid forming. Les producteurs et fabricants d'onduleurs pourraient s'engager plus rapidement à investir au niveau technologique (contrôle commande, algorithmes de régulation, etc.) et au niveau expertise des fiches associées.

Réponse RTE :

Comme discuté lors de la 1^{ère} réunion du 04/11, ce n'est pas prévu.

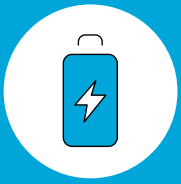


Commentaire :

- Sur le cas particulier des GMP, il est possible d'avoir par exemple 75MW de puissance installée (type D) mais que 18 MW de stockage (type C) : qu'est ce qui s'applique ? Comment se passent les essais /vérifications ? à quel niveau se fait la vérification côté HTA ou côté HTB ?

Réponse RTE :

Dans le cas détaillé, la spécification GFM ne s'appliquera qu'au stockage (18MW). Les vérifications du comportement grid forming (fiche I18) seront faites cotés HTA voire plus basse tension en fonction de la configuration de réseau interne. Pour les autres exigences, rien ne change par rapport à la situation actuelle.



Commentaire :

- Détailler par rapport à ce qui est attendu dans les modèles génériques ? voulez vous un modèle IEC ou WEC ? Comment avez vous obtenu vos gabarits ?

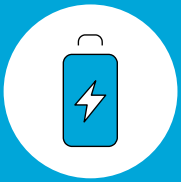
Réponse RTE :

Il n'y a pas aujourd'hui de modèle générique satisfaisant pour le Grid forming, il faut donc fournir un modèle type RMS, ouvert, c'est-à-dire avec toutes les informations nécessaires pour qu'il puisse être implémenté dans un logiciel de simulation.

- Vous ne demandez pas les tests d'islanding, comme c'est défini dans le rapport Entsoe GFM capabilities for PPM ? (3)

Réponse RTE :

Effectivement, nous n'avons repris que partiellement le rapport ENTSOE pour l'instant.



Commentaire :

- Détailler la partie labo à tester, le convertisseur sera embarqué dans un système en temps réel ou on teste le vrai convertisseur ? le réseau infini sera simulé par un émulateur de réseau ? Y a-t-il des tests sur le terrain.

Réponse RTE :

Pour l'instant les tests GFM ne couvrent que les fiches « I » de l'étape 2 du contrôle de conformité, donc uniquement des résultats de simulation.

Commentaire :

- Comment avez vous obtenu vos gabarits ?

Réponse RTE :

Nous l'avons détaillé dans la première présentation du 04/11, mais nous avons publié un article sur les méthodes utilisées ([lien](#)).

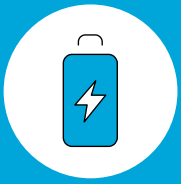
https://www.researchgate.net/publication/396388274_Envelope-Based_Criteria_and_RMS_Open-Source_Model_for_Power_Park_Modules_under_Future_Grid-Forming_Capability_Requirements



1. Présentation exigences techniques

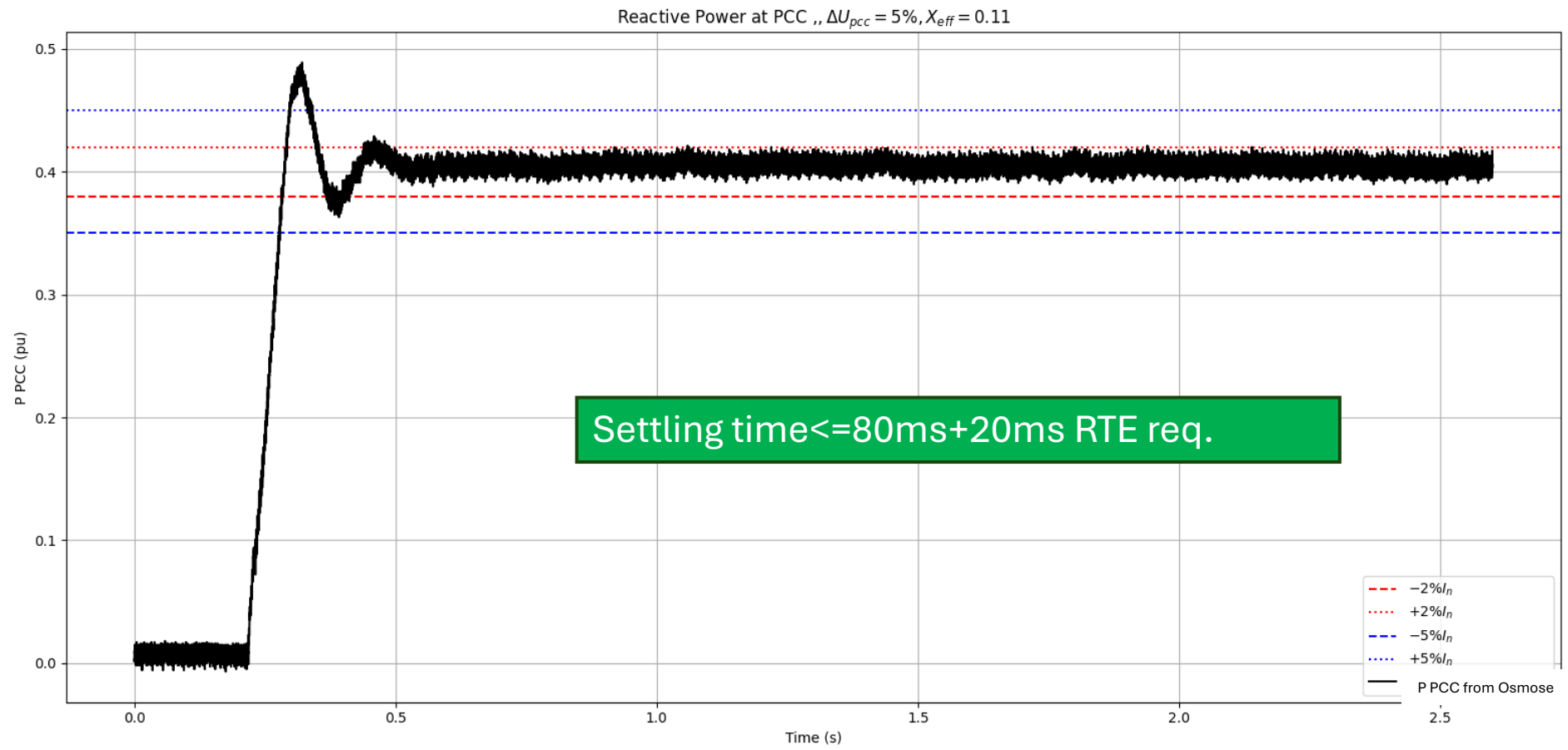
2. Réponses aux contributions

3. Test des enveloppes sur des BESS GFM issus de différents fournisseurs



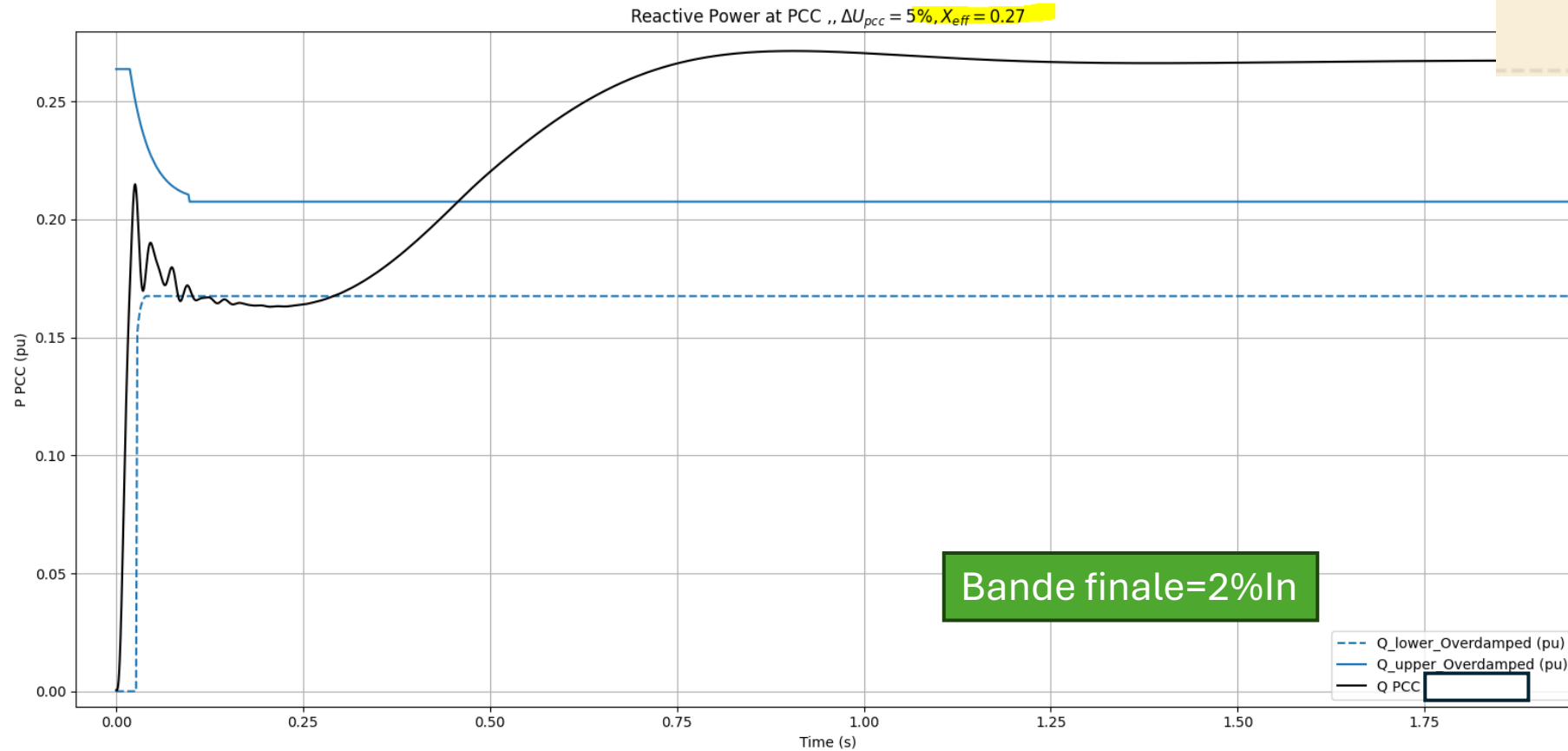
- En réponse aux commentaires du premier atelier technique du 04/11, nous avons testé les enveloppes vis-à-vis d'enregistrements d'onduleurs GFM issus de projets précédents ou de modèles détaillés de constructeur.
- En particulier nous avons utilisé des résultats :
 - Du projet OSMOSE
 - Des résultats de producteurs publiés par ENERGINET
 - Des modèles détaillés.
- RTE reste disponible pour échanger sur les résultats issus de vos matériels / modèles détaillés.

Saut de Magnitude – 5% at PCC



Saut de Magnitude – 5% at PCC

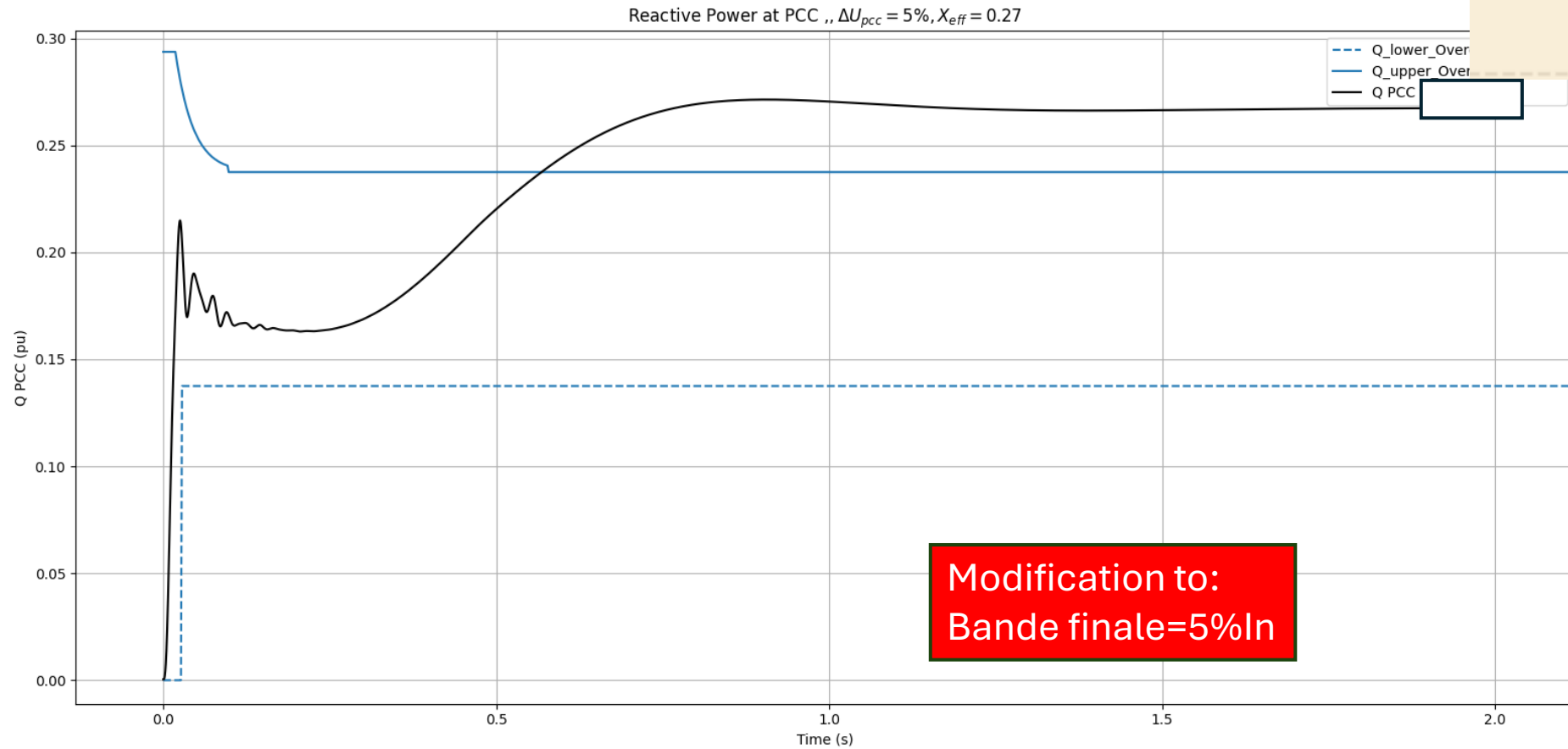
$P_0 = 0.00$ pu
 $Q_0 = 0.00$ pu
 $t_{90\%} = 0.01$ s
 $SCR = 20.00$
 $\Delta V_{Grid} = -0.06$ pu
 ~~$\Delta V_{PCC} = -0.05$ pu~~
 $X_{eff} = 0.27$ pu
 $D = 250.00$
 $H = 5.00$ s



Bande finale=2%In

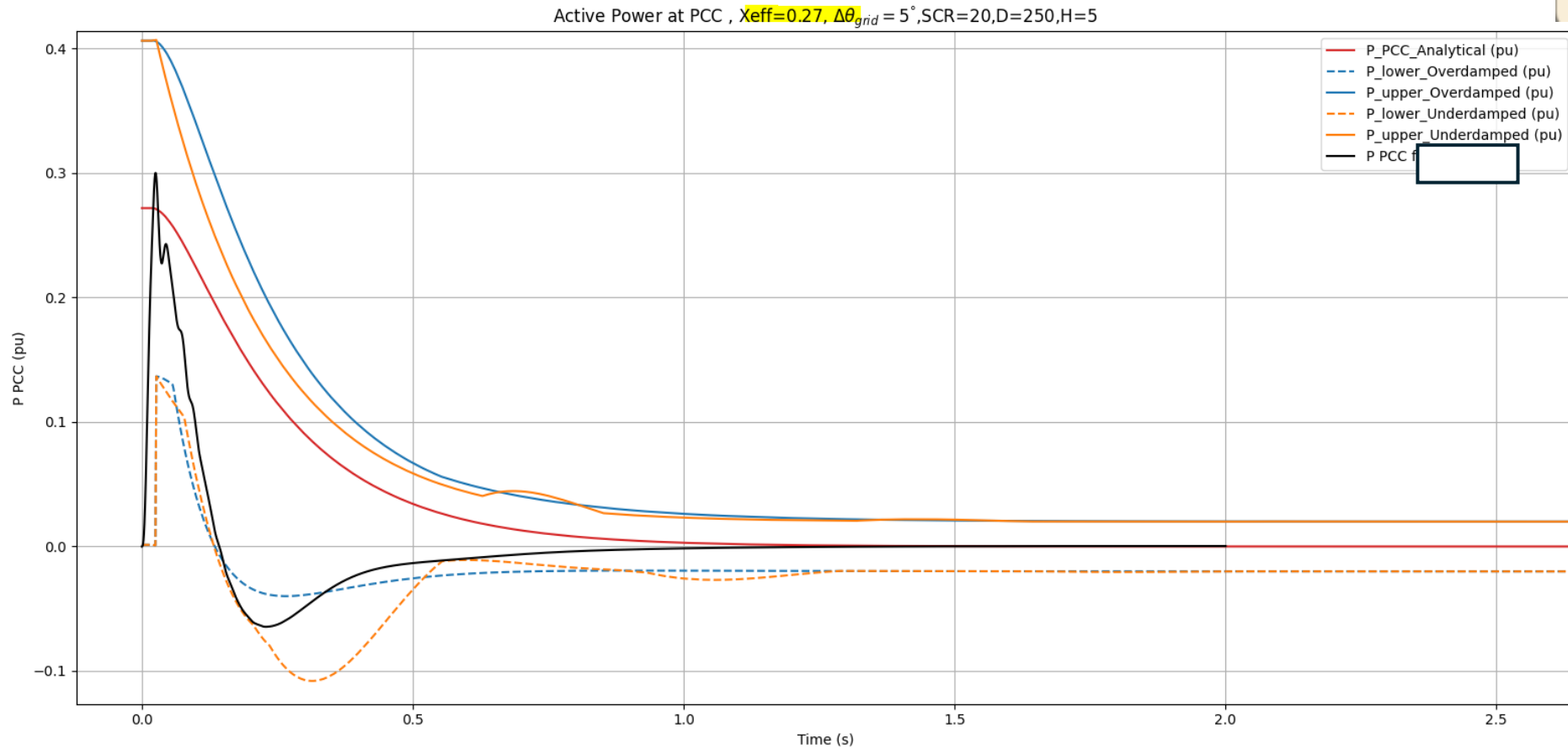
Saut de Magnitude – 5% at PCC

$P_0 = 0.00$ pu
 $Q_0 = 0.00$ pu
 $t_{90\%} = 0.01$ s
 $SCR = 20.00$
 $\Delta V_{Grid} = -0.06$ pu
 ~~$\Delta V_{PCC} = -0.05$ pu~~
 $X_{eff} = 0.27$ pu
 $D = 250.00$
 $H = 5.00$ s



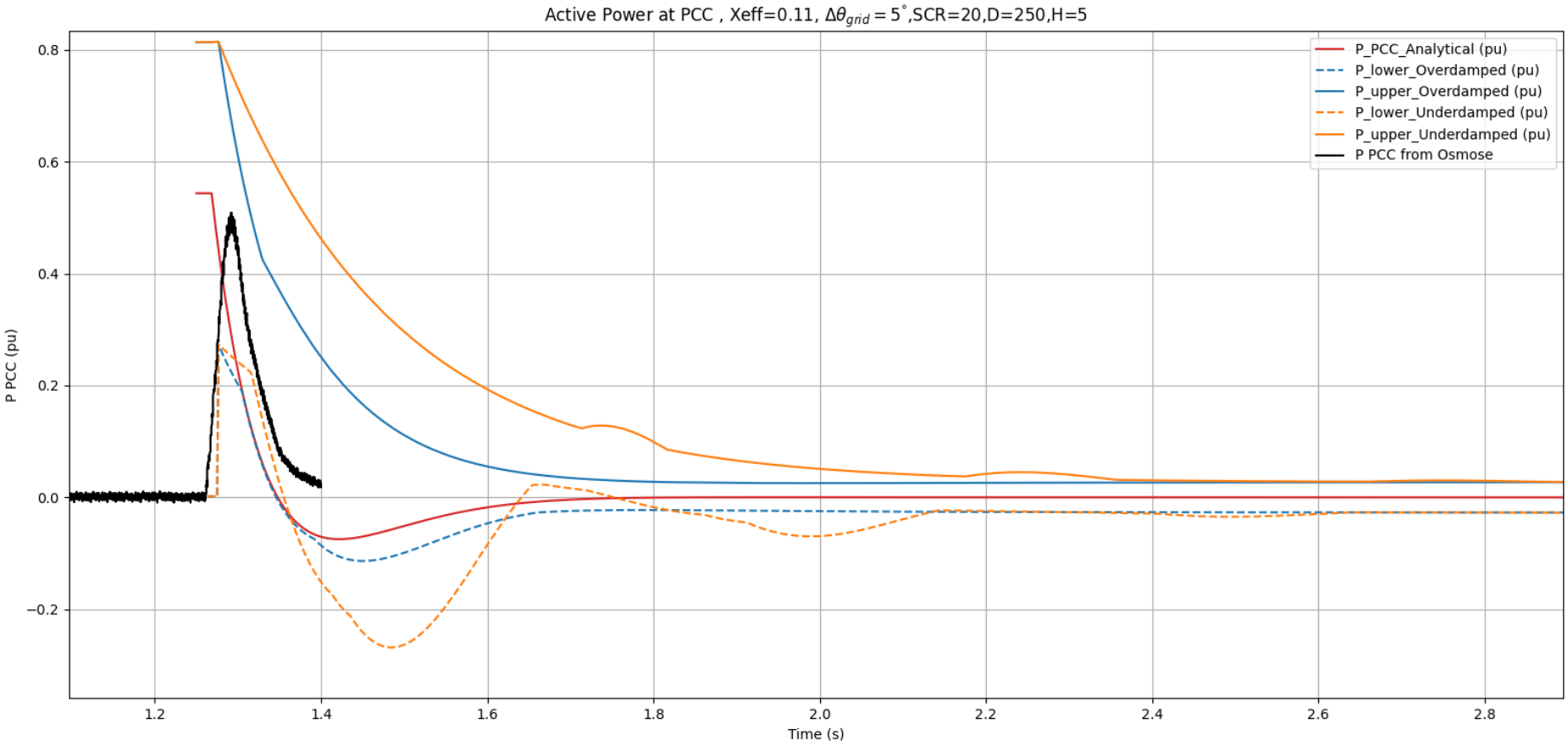
Saut de Phase 5° at Grid

$P_0 = 0.00$ pu
 $Q_0 = 0.00$ pu
 $\Delta\theta = -4.98^\circ$
 $SCR = 20.00$
 $\Delta\theta_{PCC} = -4.21^\circ$
 $X_{eff} = 0.27$ pu
 $D = 250.00$
 $H = 5.00$ s

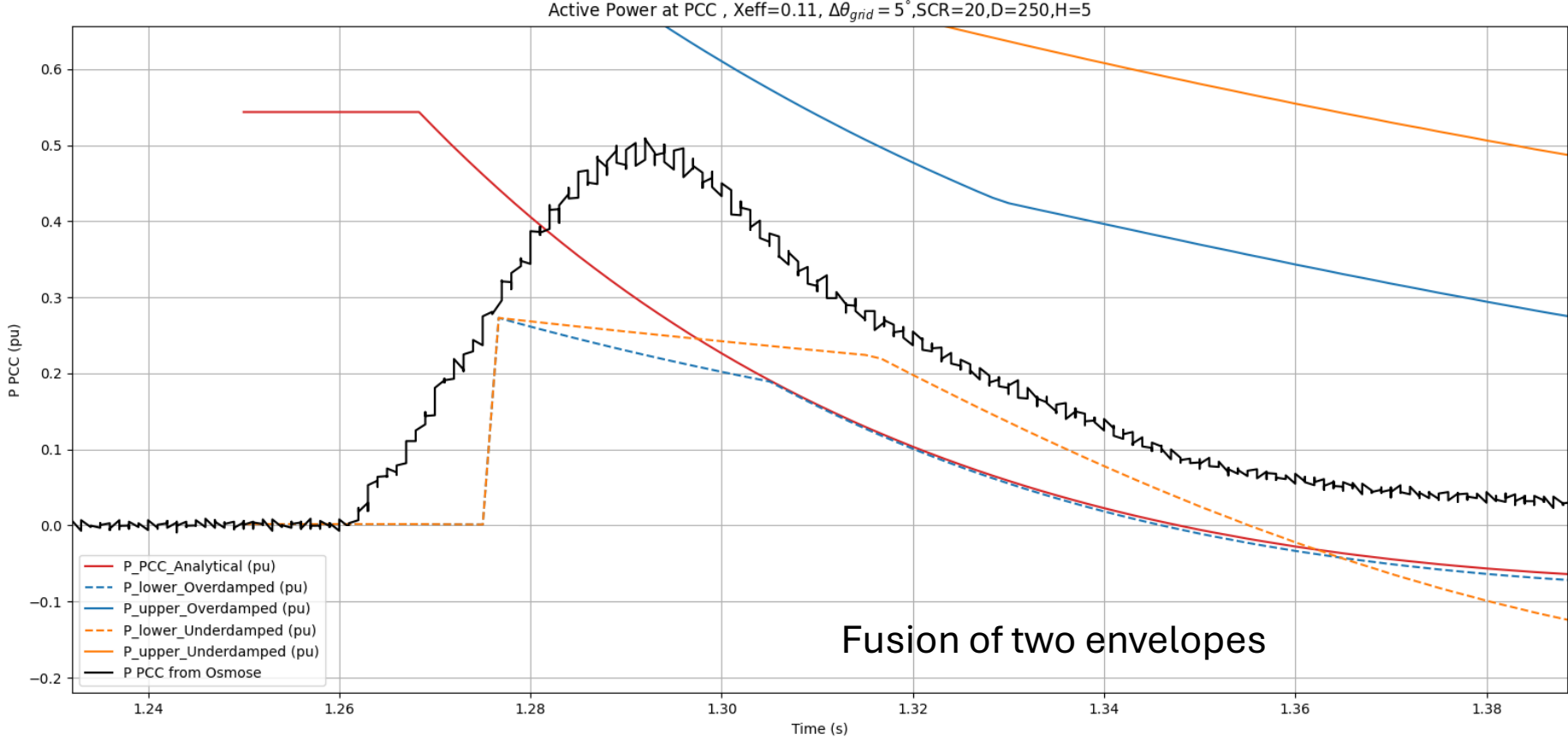


$P_0 = 0.00$ pu
 $Q_0 = 0.00$ pu
 $\Delta\theta = -4.98^\circ$
 $SCR = 20.00$
 $\Delta\theta_{PCC} = -3.43^\circ$
 $X_{eff} = 0.11$ pu
 $D = 250.00$
 $H = 5.00$ s

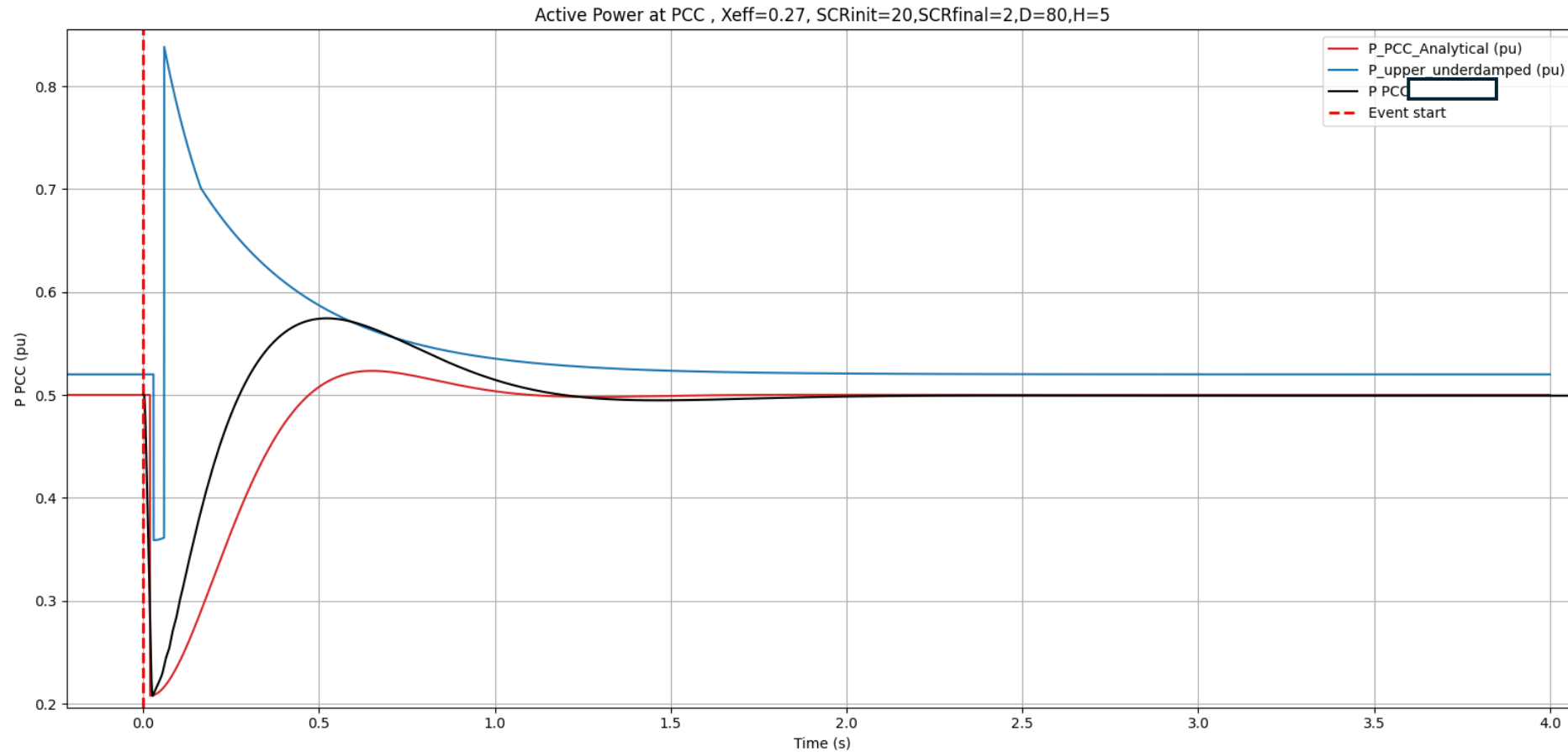
Saut de Phase 5° at Grid



Saut de Phase 5° at Grid



SCR down from 20 to 2



RoCoF +0.5 Hz/s

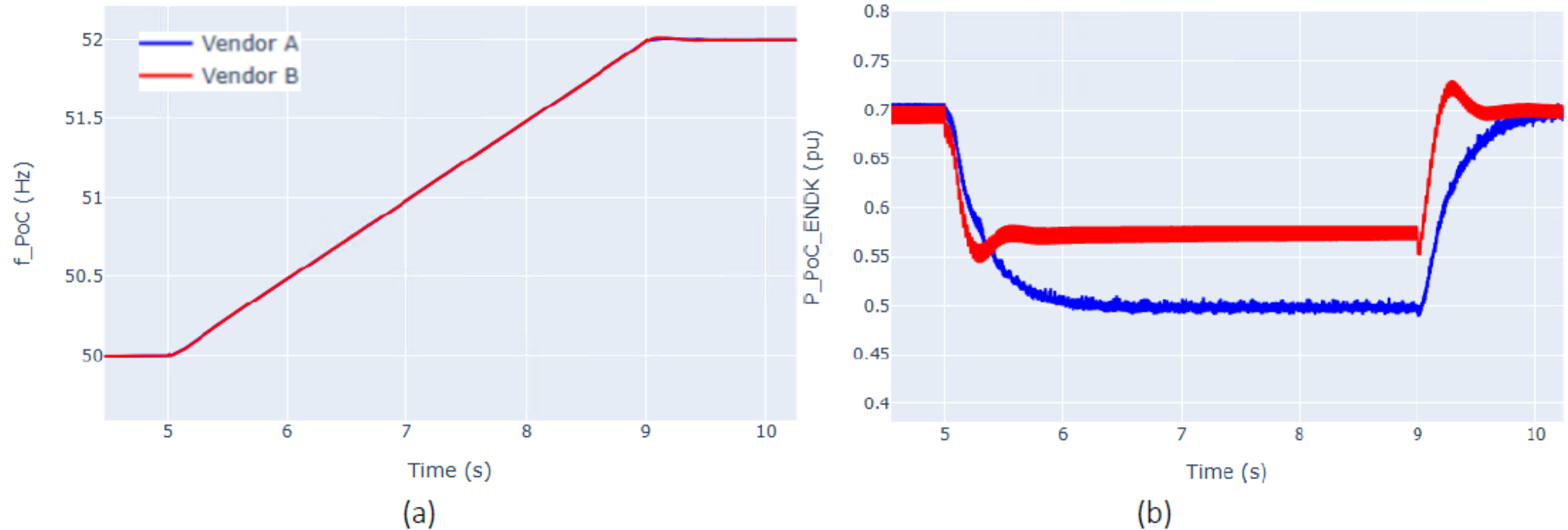
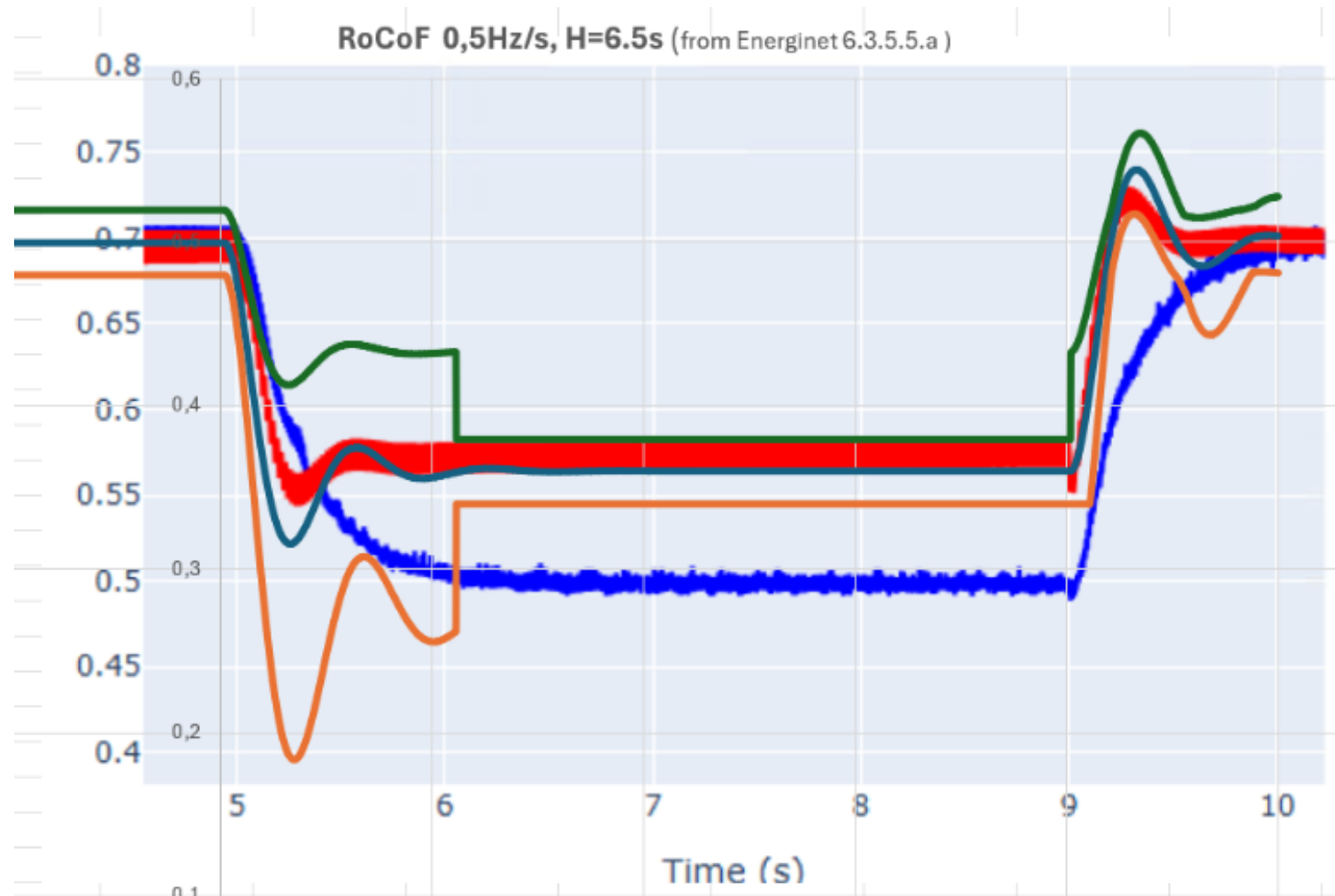


Figure 28. Test results from 0.5Hz/s RoCoF tests. (a) Frequency measured at PoC. (b) Active power output at PoC.

RoCoF +0.5 Hz/s

H=6.5s, X_{eff}=11%, SCR=10



RoCoF +2 Hz/s

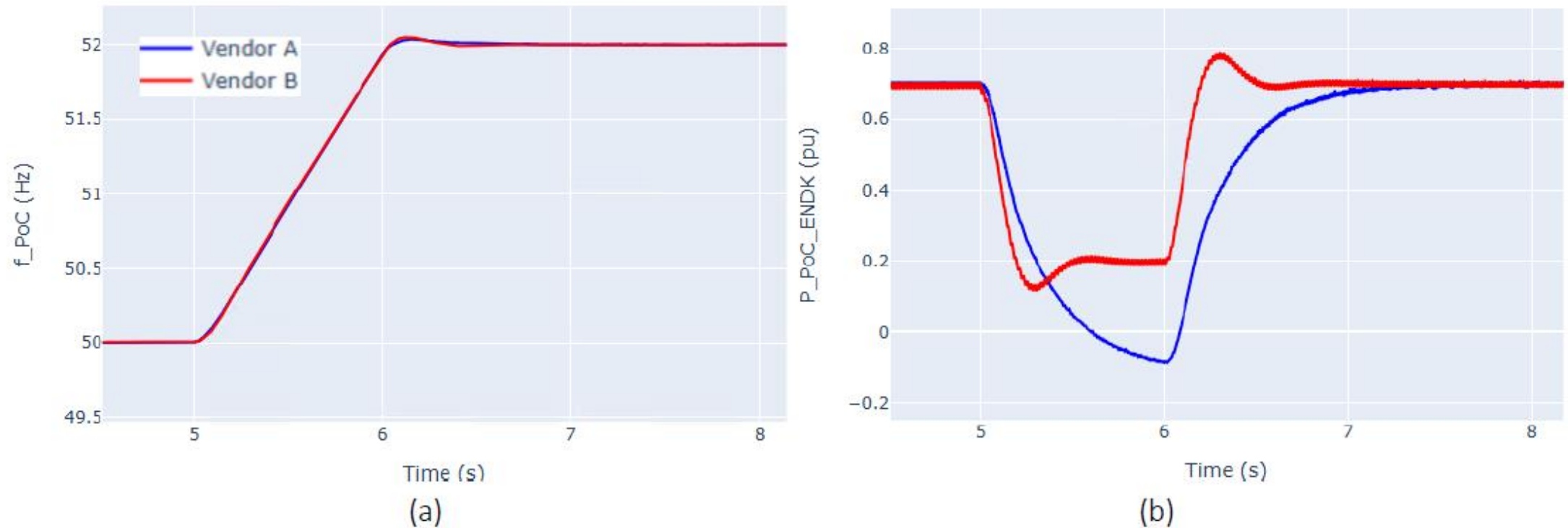
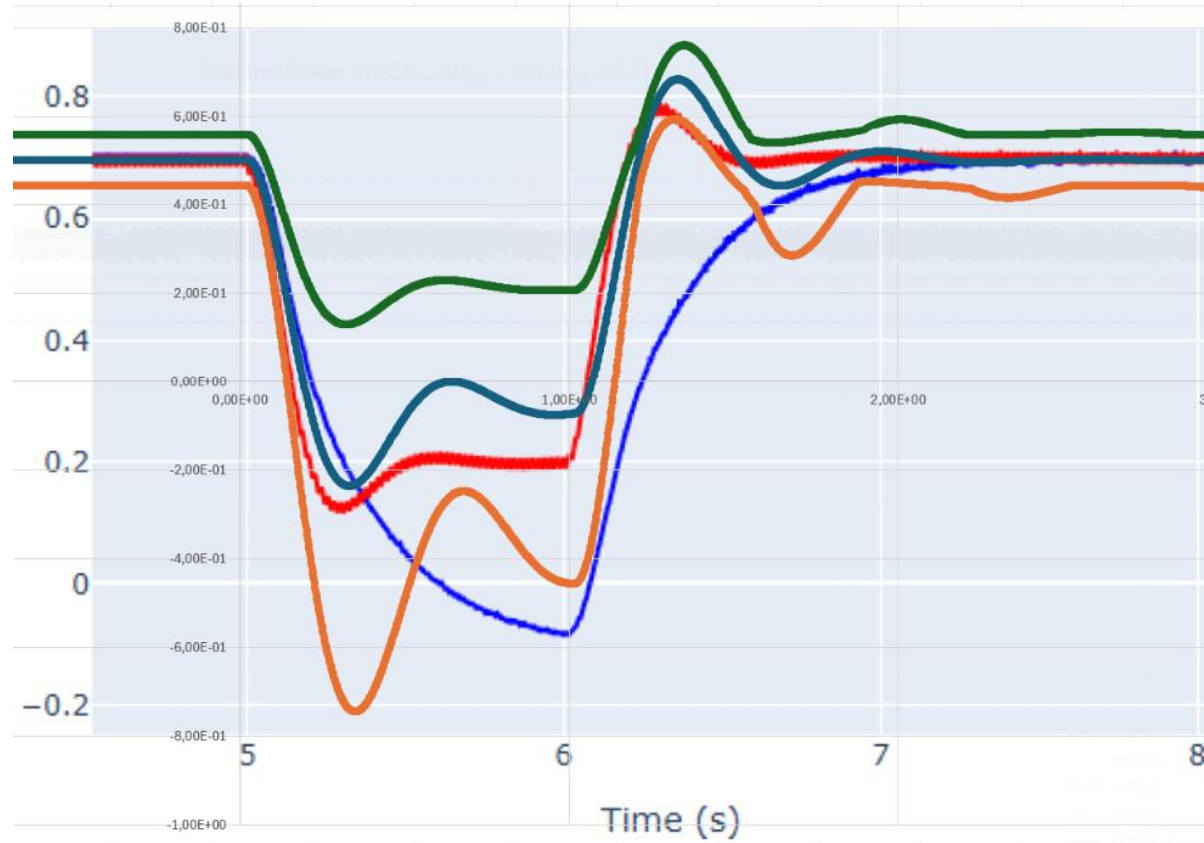


Figure 29. Test results from 2Hz/s RoCoF tests. (a) Frequency measured at PoC. (b) Active power output at PoC.

RoCoF +2 Hz/s

H=6.5s, X_{eff}=11%, SCR=10



Merci

