Note externe

Direction Clients et Territoires

Etude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA

Identification :	Enedis-NMO-RES_028E
Version :	1
Nb. de pages :	1+xx

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	15/09/2025	Création – changement de référence	Enedis-PRO-RES_12E

Document(s) associé(s) et annexe(s) :

Résumé / Avertissement

NB : Dans le cadre de son projet de simplification documentaire, Enedis modernise son système de référencement et met à jour toutes ses références de notes, tant internes qu'externes.
Cette note Enedis-NMO-RES_028E remplace donc à l'identique la note Enedis-PRO-RES_12E, comme indiqué dans la note récapitulative Enedis-MOP-RCA_003E.

Ce document décrit les études des variations rapides de tension qui sont menées pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA.

SA à directoire et à conseil de surveillance
Capital de 270 037 000 euros
R.C.S. de Nanterre 444 608 442
© Copyright Enedis

Note externe

Direction Technique

Étude des variations rapides de tension pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA

Identification :	Enedis-PRO-RES_12E
Version :	6
Nb. de pages :	19

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
3	01/03/2008	Prise en compte de l'identité visuelle d'ERDF	NOP-RES_22E
4	15/02/2017	Prise en compte de la nouvelle dénomination sociale d'Enedis	ERDF-PRO-RES_12E
5	14/01/2022	Déclinaison de l'article 32 de l'arrêté du 9 juin 2020	
6	16/05/2024	Prise en compte des nouvelles règles d'étude de la variation de puissance volontaire pendant 1 minute	

Document(s) associé(s) et annexe(s) :

Résumé / Avertissement

Ce document décrit les études des variations rapides de tension qui sont menées pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA.

© Copyright Enedis

SOMMAIRE

1 — Objet de l'étude 4

2 — A-coup de tension à l'enclenchement des transformateurs 4

2.1. Introduction 4

2.2. Objet de l'étude 4

2.3. Critère de déclenchement de l'étude 4

2.4. Hypothèses 5

2.4.1. Réseau 5

2.4.2. Transformateurs 6

2.5. Méthode 6

2.6. Détermination de la solution de raccordement 6

3 — Papillotement (ou flicker) 6

3.1. Objet de l'étude 6

3.2. Définitions 7

3.3. Hypothèses 7

3.3.1. Réseau 7

3.3.2. Données d'entrée 7

3.3.3. Seuils applicables 7

3.3.3.1. Limites d'émission en Pst 8

3.3.3.2. Limites d'émission en Plt 9

3.3.4. Méthode 10

3.3.4.1. Plt en fonctionnement établi 10

3.3.4.2. Pst et du Plt lors des opérations de couplage 10

3.4. Détermination de la solution de raccordement 10

3.4.1. Variations rapides en fonctionnement établi - Étude du Pst et du Plt en fonctionnement établi. 10

3.4.1.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé 10

3.4.1.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de flicker 11

3.4.2. Variations rapides lors des opérations de couplage - Étude du Pst lors des opérations de couplage 11

3.4.2.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé 12

3.4.2.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de fluctuations rapides de tension 12

3.4.3. Variations rapides lors des opérations de couplage - Etude du Plt lors des opérations de couplage 13

3.4.3.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé 13

3.4.3.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de fluctuations rapides de tension 14

4 — Variation de puissance volontaire pendant 1 minute 14

4.1. Introduction 14
4.2. Objet de l'étude 15
4.3. Critère de déclenchement de l'étude et déclaration de la variation maximale potentielle de puissance sur une minute par le Demandeur 15
4.4. Précisions concernant la participation aux services système de fréquence 16
4.5. Méthode de calcul 16
4.6. Détermination de la solution de raccordement 19

1 — Objet de l'étude

Vérifier que le raccordement du Site n'entraîne pas un niveau inacceptable de variations rapides de tension. Pour cela, on s'assure que :

— l'à-coup de tension à l'enclenchement des transformateurs du Site ne dépasse pas 5 % au Point de Livraison des Installations pour lesquelles les transformateurs d'évacuation des machines de production sont magnétisés par le Réseau Public de Distribution,

— pour l'Installation de Production à l'intérieur de laquelle est raccordé un ou plusieurs aérogénérateurs, les fluctuations de puissance n'entraînent pas un dépassement des limites individuelles d'émission en terme de flicker,

— pour les Installations réalisant une variation volontaire de puissance (telle que décrite dans l'article 32 de l'arrêté du 9 juin 2020) ou participant à une réserve de puissance active telle que décrite dans les alinéas 4°) et 5°) de l'article 182 du règlement (UE) 2017/1485 de la commission du 2 août 2017 (dénommé code SOGL), la variation d'amplitude maximale sur une durée de 1 minute n'engendre pas une variation de tension supérieure à 1 % au niveau du jeu de barre HTA du transformateur HTB/HTA du Poste Source alimentant l'Installation (Cf. §4.1).

2 — A-coup de tension à l'enclenchement des transformateurs

2.1. Introduction

La mise sous tension d'un transformateur de puissance par le réseau provoque un à-coup de tension.

2.2. Objet de l'étude

Vérifier l'impact de la mise sous tension des transformateurs élévateurs des génératrices et/ou d'alimentation des charges du client producteur.

2.3. Critère de déclenchement de l'étude

Pour tout type de producteur, **la puissance de base Sb** est définie comme la somme ΣS_n, des S_n du plus gros groupe de transformateurs HTA/BT de l'Installation mis simultanément sous tension par le réseau. Ces transformateurs sont les transformateur(s) élévateur(s) de groupe(s) de production.

La puissance de l'ensemble de ces transformateurs élévateurs sera égale à :

— S_{ntrG}, puissance nominale du plus gros transformateur élévateur des groupes, si la mise sous tension des transformateurs suite à découplage ou mise hors tension de l'Installation est échelonnée (un à un, deux par deux, et dans la limite du 8IB de la protection C 13-100),

— [nombre de groupes x S_{ntrG}], si la mise sous tension des transformateurs est simultanée par fermeture du disjoncteur général,

— 0, si les transformateurs sont directement mis sous tension par les groupes. Il n'y a donc pas d'étude d'à-coups à réaliser.

Le courant d'enclenchement Ie est le courant d'enclenchement **crête** (valeur instantanée maximale) le plus élevé parmi les transformateurs utilisés pour le calcul de la puissance de base Sb. Le courant d'enclenchement Ie est rapporté au courant nominal crête (courant nominal efficace x $\sqrt{2}$) du transformateur concerné.

R, X et Scc sont respectivement la résistance amont, la réactance amont et la puissance de court-circuit amont au point de raccordement de l'Installation. Ces valeurs sont à calculer pour une puissance de court-circuit HTB minimum.

L'étude est à réaliser si la puissance de base Sb (MVA) est supérieure à la valeur indiquée dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous et/ou calculée par interpolation linéaire sur les trois grandeurs d'entrée : courant d'enclenchement, niveau de Pcc au PdL et angle de l'impédance du réseau au PdL des tableaux suivants.

Ces tableaux à double entrée donnent la puissance Sb à ne pas dépasser pour obtenir une probabilité suffisante d'à-coup de tension inférieur à 5 % :

— le tableau n°1 est établi pour un courant d'enclenchement de 7In crête,

— le tableau n°2 est établi pour un courant d'enclenchement de 11In crête.

Les tableaux sont définis comme suit :

— entrée horizontale : Arctg (X/R) = 30, 50, 70, 85°,

— entrée verticale : Pcc = 40, 60, 100, 150, 200 MVA.

Arctg (X/R) Pcc	30 °	50 °	70 °	85 °
40 MVA	5,7	2,5	1,3	0,9
60 MVA	8,2	3,8	1,9	1,6
100 MVA	14,5	5,7	3,1	2,5
150 MVA	>19,5	8,8	5	3,8
200 MVA	>19,5	12,6	6,9	5,7

Tableau 1 : seuils de puissance de base Sb (MVA) pour un courant d'enclenchement le égal à 7 In crête

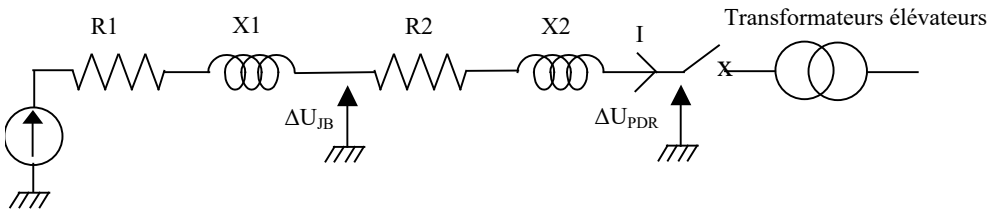
Arctg (X/R) Pcc	30 °	50 °	70 °	85 °
40 MVA	3,8	1,9	0,9	0,7
60 MVA	5	2,5	1,3	0,9
100 MVA	7,6	3,8	2,5	1,9
150 MVA	13,9	6,3	3,1	2,5
200 MVA	17,6	8,2	4,4	3,8

Tableau 2 : seuils de puissance de base Sb (MVA) pour un courant d'enclenchement égal à 11 In crête

2.4. Hypothèses

2.4.1. Réseau

L'outil permet de simuler la mise sous tension d'un ou plusieurs transformateurs sur un réseau modélisé comme ci-dessous :



Le réseau électrique équivalent comprend :

— une source de tension de tension parfaite (constante en amplitude et fréquence),

— R1, X1 représentant le réseau en amont du jeu de barres HTA du Poste Source,

— R2, X2 représentant l'impédance de liaison entre le jeu de barres du poste et le point de raccordement de l'Installation,
— les transformateurs élévateurs.

2.4.2. Transformateurs

Les données nécessaires à l'étude sont :
— puissance nominale (kVA),
— tension primaire (kV),
— tension secondaire (kV),
— tension de court circuit (%),
— courant d'enclenchement - I enclenchement crête / I nominal crête (p.u),
— courant à vide (%In),
— pertes à vide (kW),
— pertes au courant nominal (kW).

2.5. Méthode

La vérification du critère de déclenchement de l'étude signifie que la probabilité d'un à-coup de tension supérieur à 5 % lors de la mise sous tension du(des) transformateur(s) de l'Installation est élevée. Une évaluation précise par simulation des courants d'enclenchement et de l'à-coup de tension est donc nécessaire.

2.6. Détermination de la solution de raccordement

— si $\Delta U/U$ au PdL ≤ 5 % : le raccordement est possible en l'état ;
— si $\Delta U/U$ au PdL > 5 % : le raccordement n'est pas satisfaisant. On ramène le $\Delta U/U$ au PdL à une valeur inférieure à 5 % en proposant, par ordre de priorité décroissante :
  - la réalisation de l'enclenchement séquentiel des transformateurs (si mise sous tension simultanée),
  - la réalisation de la mise sous tension des transformateurs par les machines (impossible avec des génératrices de type asynchrone),
  - la réduction du Id/In des transformateurs,
  - Installation d'un dispositif limiteur de courant.

3 — Papillotement (ou flicker)

3.1. Objet de l'étude

Vérifier que les fluctuations de puissance d'un Site comportant des aérogénérateurs à raccorder au Réseau Public de Distribution n'entraînent pas un niveau d'émission inacceptable en terme de papillotement (ou flicker).

Dans le cas du raccordement d'un nouveau Site éolien, les fluctuations prises en compte sont :
— d'une part, les variations de puissance produite ou consommée à cause des variations rapides du vent, du gradient de vent et de l'impact aérodynamique du mât ;
— d'autre part, les variations de puissance produite ou consommée lors des opérations de démarrage, montée en puissance et arrêt des Installations de Production à cause des variations lentes du vent.

Cette vérification est fondée :
— d'une part, sur les engagements contractuels d'Enedis de délivrer aux utilisateurs du Réseau Public de Distribution une tension relative à la norme NF EN 50 160 « caractéristiques de la tension fournie par les Réseaux Publics de Distribution » (cette norme indique une limitation en matière de niveau de flicker) ;
— d'autre part, sur l'obligation des producteurs de se conformer à l'arrêté du 17 mars 2003 « relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement au Réseau Public de

Distribution d'une Installation de Production d'énergie électrique » en matière d'émission de perturbations (ces arrêtés indiquent notamment des niveaux d'émission de base en terme de flicker).

3.2. Définitions

Classification des variations rapides

Les variations rapides de tension engendrées par les fermes éoliennes ont des origines différentes et sont classées en deux catégories :

— le papillotement en fonctionnement établi « continuous opération » (type 1) : ce sont les variations rapides de tension engendrées en fonctionnement établi, elles sont dues aux variations de la puissance produite par les aérogénérateurs en raison des fluctuations du vent, du gradient de vent et de leur aérodynamisme ;

— le papillotement lors des opérations de couplage « switching opérations » (type 2) : ce sont les variations de tension engendrées lors des opérations de couplage / découplage, elles sont consécutives aux variations de vent. Ces variations sont dues aux brusques variations de puissance active et réactive qui apparaissent lors de la magnétisation des machines, de l'enclenchement / déclenchement de gradins de condensateurs, de la montée / baisse de charge des machines.

Indicateurs du niveau de flicker.

Les indicateurs de la sévérité du flicker sont d'une part, le Pst, flicker à court terme quantifié sur 10 mn et d'autre part, le Plt, flicker à long terme quantifié sur 120 mn.

Le « Plt en fonctionnement établi » indique la sévérité du phénomène de flicker en fonctionnement établi décrit au paragraphe précédent.

Le « Pst et le Plt lors des opérations de couplage » indiquent la sévérité du phénomène de flicker lors des opérations de couplage décrit au paragraphe précédent.

3.3. Hypothèses

3.3.1. Réseau

Le réseau HTB est modélisé par une source de tension en série avec une impédance représentative de la puissance de court-circuit minimum fournie par le réseau HTB au jeu de barres HTB du transformateur HTB/HTA du producteur étudié.

La tension de court-circuit du transformateur HTB/HTA du producteur étudié est prise à sa valeur nominale spécifiée. La détermination de la solution de raccordement est réalisée à partir d'une hypothèse de schéma normal HTA et Poste Source.

3.3.2. Données d'entrée

Fiches de Collecte :

— les caractéristiques électriques (Pn, cos(φ), Sn) ;

— le rapport d'essais des aérogénérateurs réalisé conformément à la norme CEI 61400-21. Ces données permettent de mener un calcul précis de la contribution à la sévérité du flicker qui s'exprime en Pst et Plt ;

3.3.3. Seuils applicables

Les limites doivent permettre d'allouer à chaque Installation un niveau individuel de perturbation permettant le respect des niveaux de planification pour l'ensemble des Points de Livraison ou points communs de couplage situés sur le réseau HTA et l'utilisation de l'entière capacité de desserte des Postes Sources de distribution.

Les limites d'émission sont établies conformément à l'arrêté du 17 mars 2003 et selon le stade 2 du rapport technique CEI 61000-3-7 « Evaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT - Publication fondamentale en CEM » dans le cadre des hypothèses énoncées ci-après.

Remarque : il faut s'assurer que la Pcc au PdL du Site est supérieure à 40 MVA (cf arrêtés du 17 mars 2003). Si ce n'est pas le cas, les limites d'émission à prendre en compte sont celles indiquées aux paragraphes c1) et c2) et multipliées par $\frac{40(MVA)}{PccPDL}$. Il faut alors voir les conséquences possibles pour les utilisateurs du réseau et lever éventuellement cette contrainte générée par une Pcc trop faible au PdL.

Les limites suivantes sont à appliquer dans le cas des Postes Sources n'alimentant pas déjà une Installation identifiée comme participant de façon notable au flicker.

Ces seuils de partage pris en compte dans la suite sont tels que :

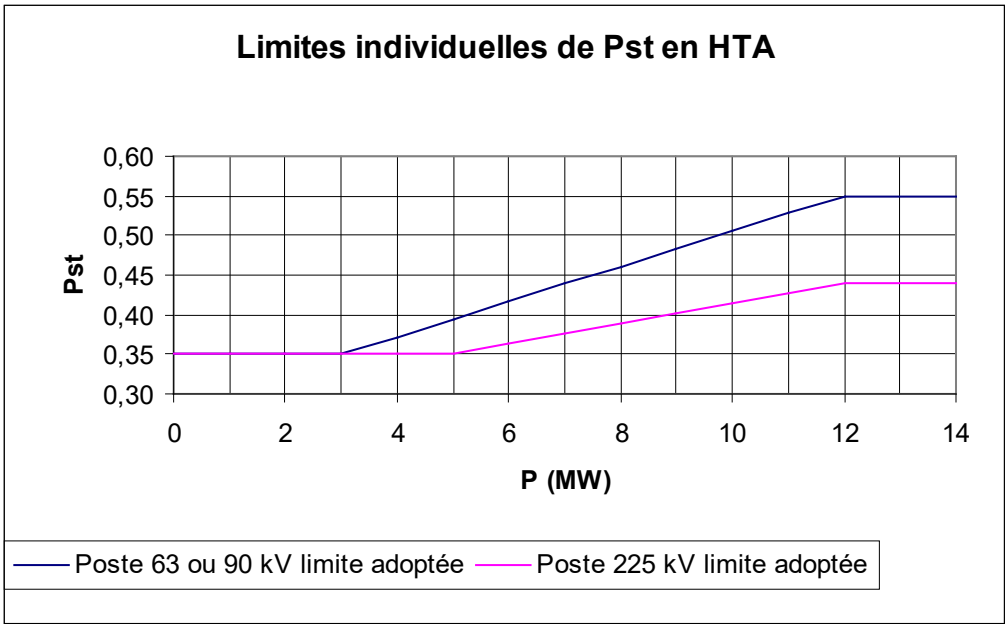
— la somme des puissances souscrites des clients consommateurs HTA raccordés (ou dont le raccordement est décidé) au même transformateur HTB/HTA et susceptibles d'être perturbateurs simultanément en matière de flicker n'excède pas 11 MW si le transformateur HTB/HTA est raccordé en 63 ou 90 kV et 21 MW si le transformateur HTB/HTA est raccordé en 225 kV,

— la somme des puissances des Installations de Production HTA raccordées au même transformateur HTB/HTA n'excède pas 43 MW si le transformateur HTB/HTA est raccordé en 63 ou 90 kV et 84 MW si le transformateur HTB/HTA est raccordé en 225 kV.

Chaque Site perturbateur peut bénéficier des niveaux d'émission de base de 0,35 pour le Pst et de 0,25 pour le Plt, les charges significatives ont une limitation de leur émission croissante avec la puissance souscrite des utilisateurs jusqu'à une limite de 12 MW.

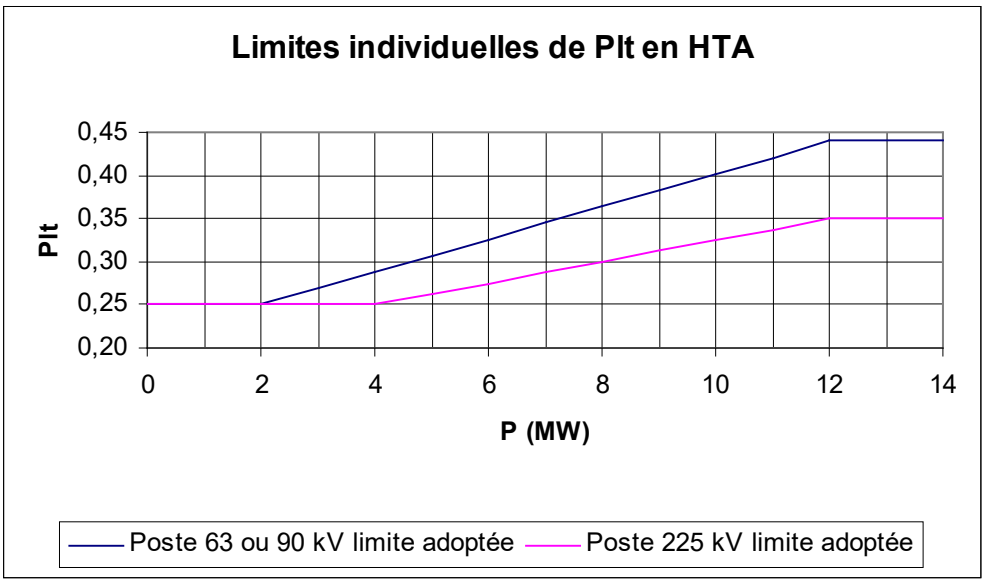
En conséquence pour les études de raccordement des Sites perturbateurs (dont les Sites de production éolienne), il faut respecter les limites d'émission indiquées ci-après selon la puissance de l'Installation et la nature du Poste Source HTB/HTA de raccordement envisagé.

3.3.3.1. Limites d'émission en Pst



PSite (MW)	Poste 63 ou 90 kV	Poste 225 kV
0 à 3	0,35	0,35
4	0,37	0,35
5	0,39	0,35
6	0,42	0,36
7	0,44	0,38
8	0,46	0,39
9	0,48	0,40
10	0,51	0,41
11	0,53	0,43
12	0,55	0,44
> 12	0,55	0,44

3.3.3.2. Limites d'émission en Plt



PSite (MW)	Poste 63 ou 90 kV	Poste 225 kV
0 à 2	0,25	0,25
3	0,27	0,25
4	0,29	0,25
5	0,31	0,26
6	0,33	0,28
7	0,35	0,29
8	0,36	0,30

9	0,38	0,31
10	0,40	0,33
11	0,42	0,34
12	0,44	0,35
> 12	0,44	0,35

3.3.4. Méthode

L'étude de raccordement a pour objet de vérifier si les contributions individuelles sont respectées au Point de Livraison, avec éventuellement la possibilité d'introduire un point commun de couplage. Pratiquement, on vérifie que la contribution individuelle de la ferme éolienne au flicker à son Point de Livraison ou éventuellement au point commun de couplage (et par définition en tout point situé en amont de celui-ci) ne dépasse pas les niveaux limites de la contribution allouée au Site.

Le respect de ces niveaux doit normalement garantir que le niveau global de flicker de l'ensemble des utilisateurs du réseau HTA (dont les fermes éoliennes) ajouté au flicker provenant de la HTB n'excède pas le niveau de compatibilité en tout point situé entre le jeu de barres HTA du Poste Source et les Points de Livraison des utilisateurs ou les points communs de couplage des utilisateurs perturbateurs.

A chaque fois, trois calculs de flicker sont réalisés :

— Plt en fonctionnement établi (en effet pour le flicker en fonctionnement établi, Plt = Pst),

— Pst lors des opérations de couplage,

— Plt lors des opérations de couplage.

3.3.4.1. Plt en fonctionnement établi

Le coefficient de flicker en régime permanent « c(Ψ_k,Va) » est renseigné dans les fiches de collecte pour 4 angles Ψ_k d'impédance du réseau (30, 50, 70, 85°) et pour 4 vitesses moyennes annuelles de vent (6 m/s, 7,5 m/s, 8,5 m/s, 10 m/s). On évalue alors le Plt en fonctionnement établi selon la norme CEI 61 400-21.

3.3.4.2. Pst et du Plt lors des opérations de couplage

Les coefficient de flicker lors des opérations de couplage « kf (Ψk) » pour 4 angles Ψk d'impédance du réseau (30, 50, 70, 85) ainsi que le nombre maximum de séquences sur 10 min (N10) et sur 120 min (N120) pour chaque type d'aérogénérateur pour les trois séquences prévues par la norme CEI 61 400-21 (couplage à vent minimal, couplage à vent nominal, basculement d'une machine sur l'autre) sont renseigné dans les fiches de collecte. On évalue alors le Pst et le Plt lors des opérations de couplage selon la norme CEI 61 400-21.

3.4. Détermination de la solution de raccordement

3.4.1. Variations rapides en fonctionnement établi - Étude du Pst et du Plt en fonctionnement établi

Le Pst en fonctionnement établi = le Plt en fonctionnement établi

3.4.1.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé

On calcule « Plt » la contribution individuelle en Plt de la ferme éolienne. On détermine « limite en Plt » à partir de la courbe f(P installée) de la limite individuelle en Plt admissible pour la ferme éolienne en vérifiant que les hypothèses du § c) « Seuils applicables » ne sont pas dépassées.

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Plt » ≤ « limite en Plt » en tout point entre le jeu de barres du Poste Source et le Point de Livraison, il n'y a pas de contrainte. Le Point Commun de Couplage est donc défini au PdL ;

— si « Plt » > « limite en Plt » en un des points examinés ci-dessus, le raccordement n'est pas possible en l'état. On lève cette contrainte en trouvant un Point Commun de Couplage situé sur les ouvrages HTA en amont duquel le Plt est inférieur ou égal à « limite en Plt » en tout point :
    - en adaptant la partie de réseau HTA en contrainte ;
    - ailleurs sur le réseau HTA existant ;
    - par la création d'un départ dédié ;
    - par le raccordement sur un autre Poste Source ;

— si « Plt » > « limite en Plt » au niveau du jeu de barres de tous les Postes Sources de raccordement possibles, le raccordement n'est pas possible en HTA sur des ouvrages partagés avec des utilisateurs non perturbateurs en matière de variations rapides de tension. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on cherche à lever cette contrainte par :
    - une mutation du transformateur HTB/HTA ;
    - un raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer.

3.4.1.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de flicker

On calcule :

— le « Plt résultant au PdL » de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé en tenant compte aussi du flicker pouvant provenir de la HTB. Le transfert des perturbations du réseau HTB sur le réseau HTA est pris par défaut à 0,48 en Plt ;

— le « Plt résultant au JDB HTB du PS ».

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Plt résultant au JDB HTB du PS » ≤ 0,25 et si au niveau de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé le « Plt résultant au PdL » est compatible avec les besoins des Installations en aval du PdL, il n'y a pas de contrainte. Le Point Commun de Couplage est défini au niveau des bornes amont du transformateur HTB/HTA spécialisé ;

— si le « Plt résultant au PdL » en un PdL situé en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé n'est pas compatible avec les besoins des Installations en aval du PdL, le raccordement n'est pas possible en l'état. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on cherche à lever cette contrainte par :
    - une mutation du transformateur HTB/HTA ;
    - un raccordement sur un autre transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer ;

— si « Plt résultant au JDB HTB du PS » > 0,25, le raccordement est autorisé en l'état sous réserve qu'un bilan global au JDB HTB du Poste Source montre qu'Enedis respecte ses engagements en terme de flicker.

Remarque : le seuil de 0,25 est un critère de déclenchement d'étude pour le « Plt résultant au JDB HTB du PS ».

3.4.2. Variations rapides lors des opérations de couplage - Étude du Pst lors des opérations de couplage

Le Pst lors des opérations de couplage est différent du Plt lors des opérations de couplage, Il faut donc faire une étude sur le Pst et une étude sur le Plt.

3.4.2.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé

On calcule « Pst » la contribution individuelle en Pst de la ferme éolienne.

On détermine « limite en Pst » à partir de la courbe f(P installée) de la limite individuelle en Pst admissible pour la ferme éolienne.

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Pst » ≤ « limite en Pst » au jeu de barres du Poste Source, au Point de Livraison et en tout point intermédiaire, il n'y a pas de contrainte. Le point commun de couplage est donc défini au PdL ;

— si « Pst » > « limite en Pst » en un des points examinés ci-dessus, le raccordement n'est pas possible en l'état. On lève cette contrainte :

- en trouvant un point commun de couplage situé sur les ouvrages HTA en amont duquel le Pst est inférieur ou égal à « limite en Pst » en tout point :
  - en adaptant la partie de réseau HTA en contrainte ;
  - ailleurs sur le réseau HTA existant ;
  - par la création d'un départ dédié ;
  - par le raccordement sur un autre Poste Source ;

Et/ou

- en modifiant les caractéristiques du Site en recourant aux solutions suivantes dans l'ordre de priorité :
  - on détermine le nombre maximal « N_{10} » de couplages et de basculements d'une génératrice à l'autre par période de 10 mn pour chaque éolienne qui permet à la contribution en Pst de la ferme d'être conforme à la limite tout en maintenant « N_{10} »≥ 1. Dans ce cas l'Offre de Raccordement n'est valable qu'à la condition du respect des « N_{10} » ainsi déterminés ;
  - si la contrainte n'est pas encore levée, on détermine le nombre maximal « N_{10} Site » de couplages et de basculements d'une génératrice à l'autre par période de 10 mn pour l'ensemble du Site qui permet à la contribution en Pst de la ferme d'être conforme à la limite tout en maintenant « N_{10} Site » ≥ 1. Dans ce cas l'Offre de Raccordement n'est valable qu'à la condition de l'Installation par le producteur d'un système de gestion centralisée des couplages et basculements des aérogénérateurs de la ferme éolienne et du respect des « N_{10} Site » ainsi déterminés ;

— si « Pst » > « limite en Pst » au niveau du jeu de barres de tous les Postes Sources de raccordement possibles, le raccordement n'est pas possible en HTA sur des ouvrages partagés avec des utilisateurs non perturbateurs en matière de variations rapides de tension. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on lève cette contrainte :

- en modifiant les caractéristiques du Site (tel que défini au paragraphe précédent) ;
- par une mutation du transformateur HTB/HTA ;
- par un raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer.

3.4.2.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de fluctuations rapides de tension

On calcule :

— le « Pst résultant au PdL » de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé en tenant compte aussi du flicker pouvant provenir de la HTB. Le transfert des perturbations du réseau HTB sur le réseau HTA est pris par défaut à 0,64 en Pst ;

— le « Pst résultant au JDB HTB du PS ».

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Pst résultant au JDB HTB du PS » ≤ 0,35 et si au niveau de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé le « Pst résultant au PdL » est compatible avec les besoins des

Installations en aval du PdL, il n'y a pas de contrainte. Le Point Commun de Couplage est défini au niveau des bornes amont du transformateur HTB/HTA spécialisé ;

— si le « Pst résultant au PdL » en un PdL situé en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé n'est pas compatible avec les besoins des Installations en aval du PdL, le raccordement n'est pas possible en l'état. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on cherche à lever cette contrainte par :
    - une mutation du transformateur HTB/HTA ;
    - un raccordement sur un autre transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer ;
— si « Pst résultant au JDB HTB du PS » > 0,35, le raccordement est autorisé en l'état sous réserve qu'un bilan global au JDB HTB du Poste Source montre qu'Enedis respecte ses engagements en terme de flicker.

Remarque : le seuil de 0,35 est un critère de déclenchement d'étude pour le « Pst résultant au JDB HTB du PS ».

3.4.3. Variations rapides lors des opérations de couplage - Etude du Plt lors des opérations de couplage

3.4.3.1. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA non spécialisé

On calcule « Plt » la contribution individuelle en Plt de la ferme éolienne.

On détermine « limite en Plt » à partir de la courbe f(P installée) de la limite individuelle en Plt admissible pour la ferme éolienne.

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Plt » ≤ « limite en Plt » au jeu de barres du Poste Source, au Point de Livraison et en tout point intermédiaire, il n'y a pas de contrainte. Le Point Commun de Couplage est défini au PdL ;
— si « Plt » > « limite en Plt » en un des points examinés ci-dessus, le raccordement n'est pas possible en l'état. On lève cette contrainte :
    - en trouvant un Point Commun de Couplage situé sur les ouvrages HTA en amont duquel le Plt est inférieur ou égal à « limite en Plt » en tout point :
        - en adaptant la partie de réseau HTA en contrainte ;
        - ailleurs sur le réseau HTA existant ;
        - par la création d'un départ dédié ;
        - par le raccordement sur un autre Poste Source ;

Et/ou

    - en modifiant les caractéristiques du Site en recourant aux solutions suivantes dans l'ordre de priorité :
        - si l'étude en Pst lors des opérations de couplage n'a pas conduit à la nécessité d'installer un système de gestion centralisée (sinon passer directement point -2-), on détermine le nombre maximal « N_{120} » de couplages et de basculements d'une génératrice à l'autre par période de 120 mn pour chaque éolienne qui permet à la contribution en Plt de la ferme d'être conforme à la limite tout en maintenant « N_{120} » ≥ « N_{10} ». Dans ce cas l'Offre de Raccordement n'est valable qu'à la condition du respect des « N_{120} » ainsi déterminés ;
        - si la contrainte n'est pas encore levée, ou si l'étude en Pst lors des opérations de couplage a conduit à la nécessité d'installer un système de gestion centralisée on détermine le nombre maximal « N_{120} Site » de couplage et de basculement d'une génératrice à l'autre par période de 120 mn pour l'ensemble du Site qui permet à la contribution en Plt de la ferme d'être conforme à la limite tout en maintenant « N_{120} Site » ≥ « N_{10} Site » et « N_{120} Site » ≥ nombre d'aérogénérateurs de la ferme éolienne (pour que l'ensemble de la ferme puisse démarrer en 2 heures maximum). Dans ce cas l'Offre de Raccordement n'est valable qu'à la condition de l'Installation par le producteur d'un système de gestion centralisée des couplages et basculements des aérogénérateurs de la ferme éolienne et du respect des « N_{120} Site » ainsi déterminés ;

— si « Plt » > « limite en Plt » au niveau du jeu de barres de tous les Postes Sources de raccordement possibles, le raccordement n'est pas possible en HTA sur des ouvrages partagés avec des utilisateurs non perturbateurs en matière de variations rapides de tension. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on lève cette contrainte :
  - en modifiant les caractéristiques du Site (tel que défini au paragraphe précédent) ;
  - par une mutation du transformateur HTB/HTA ;
  - par un raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer.

3.4.3.2. Si raccordement sur un transformateur HTB/HTA spécialisé pour des raisons de fluctuations rapides de tension

On calcule :

— le « Plt résultant au PdL » de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé en tenant compte aussi du flicker pouvant provenir de la HTB. Le transfert des perturbations du réseau HTB sur le réseau HTA est pris par défaut à 0,48 en Plt ;

— le « Plt résultant au JDB HTB du PS ».

Les cas suivants peuvent alors se présenter :

— si « Plt résultant au JDB HTB du PS » ≤ 0,25 et si au niveau de chaque Installation située en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé le « Plt résultant au PdL » est compatible avec les besoins des Installations en aval du PdL, il n'y a pas de contrainte. Le point commun de couplage est défini au niveau des bornes amont du transformateur HTB/HTA spécialisé ;

— si le « Plt résultant au PdL » en un PdL situé en aval du transformateur HTB/HTA spécialisé n'est pas compatible avec les besoins des Installations en aval du PdL, le raccordement n'est pas possible en l'état. Pour répondre à la demande du producteur et lui proposer une Offre de Raccordement, on cherche à lever cette contrainte par :
  - une mutation du transformateur HTB/HTA ;
  - un raccordement sur un autre transformateur HTB/HTA spécialisé existant ou à créer ;

— si « Plt résultant au JDB HTB du PS » > 0,25, le raccordement est autorisé en l'état sous réserve qu' un bilan global au JDB HTB du Poste Source montre qu'Enedis respecte ses engagements en terme de flicker.

Remarque : le seuil de 0,25 est un critère de déclenchement d'étude pour le « Plt résultant au JDB HTB du PS ».

4 — Variation de puissance volontaire pendant 1 minute

4.1. Introduction

Lorsque la rampe d'injection est trop importante (forte variation de puissance sur une durée très courte), elle peut perturber le plan de tension. En particulier lorsque la variation de tension se fait sur une durée inférieure à la durée de régulation de la tension au niveau du transformateur HTB/HTA qui alimente l'Installation de Production. Cette durée de régulation de la tension est de 1 minute.

En application de l'article 32 de l'arrêté du 9 juin 2020, la présente méthode permet de vérifier que, pour une Installation de Production, la variation de puissance pendant une minute résultant d'une action volontaire du producteur ne perturbe pas le plan de tension. Il en est de même pour une Installation dont la variation de puissance résulte d'une participation à une réserve de puissance active telle que décrite dans le code SOGL[1]. La variation de puissance, exprimée en MW/min, correspond à l'amplitude maximale de puissance en MW pendant 1 minute.

Les actions volontaires comprennent notamment :

[1] Alinéas 4°) et 5°) de l'article 182 du règlement (UE) 2017/1485 de la commission du 2 août 2017

— La participation au service système de réserve primaire de fréquence souscrite auprès de RTE pour des variations de fréquence à la baisse ou à la hausse dont l'amplitude en valeur absolue est inférieure ou égale à 100 mHz sur une minute glissante ;
— La participation au service système de réserve secondaire de fréquence/puissance souscrite auprès de RTE ;
— La modification de la puissance active de l'Installation associée à la gestion de la puissance active de consigne par le gestionnaire du site ;
— L'arrêt de production l'Installation par le Producteur, sauf si cet arrêt répond à une demande d'Enedis ;
— Le couplage de l'Installation de Production – les modalités applicables dans ce cas sont également décrites au §2 —.

Les variations de puissance instantanée résultant d'actions non volontaires, qui ne sont pas considérées au titre de la présente étude, sont :
— Les variations de puissance active liées à la participation au service système de réserve primaire de fréquence souscrite auprès de RTE pour des variations de fréquence à la baisse ou à la hausse dont l'amplitude en valeur absolue est strictement supérieure à 100 mHz sur une minute glissante ;
— Les variations de puissance instantanée causées par les variations des conditions météorologiques (par exemple, variation de l'intensité du vent ou de l'ensoleillement) ;
— L'application d'ordres de conduite émis par Enedis vers l'Installation de Production pour réaliser son découplage ou une limitation de sa puissance injectée, afin de lever une contrainte existante ou à venir sur les réseaux publics.

4.2. Objet de l'étude

Vérifier que la variation rapide de puissance, dont la valeur d'amplitude maximale est sollicitée par le Demandeur du raccordement, n'engendre pas une variation de tension supérieure à 1 % au niveau du jeu de barre HTA du transformateur HTB/HTA du Poste Source qui alimente l'Installation de Production. En application de l'article 32 de l'arrêté du 9 juin 2020, la valeur ne perturbant pas le plan de tension ne peut qu'être comprise dans l'intervalle [0 MW/min ; 8 MW/min].

4.3. Critère de déclenchement de l'étude et déclaration de la variation maximale potentielle de puissance sur une minute par le Demandeur

L'étude est à réaliser si l'Installation relève de l'arrêté du 9 juin 2020 et si le Demandeur indique que l'Installation fera l'objet de variation de puissance qui résulte d'une action volontaire de sa part telle que définie au § 4.1. Le Demandeur fournira la variation maximale de puissance pendant une minute ΔP_{max}, valeur que le Demandeur précisera lors de sa demande de raccordement et qui doit être inférieure ou égale à 8 MW/min.

A noter que pour les Installations relevant de l'arrêté du 23 avril 2008, la valeur maximale d'amplitude de variante autorisée est de 4 MW/min.

A l'exception des situations où les variations de puissance instantanée résultent d'actions non volontaires, dont la liste est définie au chapitre § 4.1, le Demandeur s'engage à ce que la variation de puissance de l'Installation pour toute période d'une durée de 1 minute soit inférieure ou égale à la variation maximale de puissance pendant une minute, notée ΔP_{max}, qu'il a déclarée au moment de sa demande de raccordement.

ΔP_{max} doit respecter l'ensemble des principes suivants :

- ΔP_{max} est inférieure ou égale 8 MW par minute ;
- Si le Demandeur souhaite que l'Installation puisse participer au service système de réserve primaire de fréquence et/ou au service système de réserve secondaire de fréquence/puissance, ΔP_{max} doit être compatible avec la dynamique de ces services.
    - ΔP_{max} ne peut pas être inférieure à une valeur par défaut de 0,5 * Puissance installée de l'Installation pour une installation de stockage ;

- ΔP_{max} doit tenir compte de la variation maximale de puissance sur une minute associée à la gestion de la puissance active de consigne pour cette Installation.
    - ΔP_{max} est égale à 2 * Puissance installée de l'Installation pour une installation de stockage si le Demandeur ne souhaite pas limiter la variation potentielle de puissance sur une minute de son Installation.
    - ΔP_{max} peut être inférieure à 2 * Puissance installée de l'Installation pour une installation de stockage si le Demandeur met en œuvre une limitation de la dynamique de variation de puissance pour la gestion de sa puissance de consigne de son Installation afin de respecter la valeur ΔP_{max} déclarée.

4.4. Précisions concernant la participation aux services système de fréquence

Il est précisé que les règles d'études de raccordement au Réseau Public de Distribution sont applicables à la maille de l'Installation et non à la maille de l'entité de réglage à laquelle l'Installation est susceptible d'être rattachée en vue de sa participation aux services système de fréquence.

Pour éviter tout doute : les règles d'étude de raccordement de l'Installation ne modifient pas les caractéristiques techniques des variations de puissance attendues de l'entité de réglage (à laquelle l'Installation est rattachée) pour la participation de l'Installation au service système de réserve primaire et/ou secondaire. Ces caractéristiques techniques sont celles prévues au sein des Règles Services Système Fréquence en vigueur au moment de la participation de l'entité de réglage aux réglages primaire et/ou secondaire, établies et publiées par RTE.

Par exemple : une entité de réglage susceptible de participer à la réserve primaire à hauteur d'une puissance symétrique (à la hausse et à la baisse) - notée RP_Max - devra être en capacité de procéder à une variation potentielle de puissance pouvant aller jusqu'à 2 * RP_Max sur une durée inférieure à 1 minute.

4.5. Méthode de calcul

L'objectif est de calculer une variation de tension au niveau du jeu de barre HTA du transformateur HTB/HTA du Poste Source qui alimente l'Installation de Production résultant de la variation de puissance ΔP_{max}. Il faut vérifier que cette variation de tension ne dépasse pas 1 % afin de respecter le plan de tension (risque d'excursions de tension non maîtrisables par le régleur en charge du transformateur HTB/HTA durant sa durée d'inhibition et répercutées sur le réseau et les utilisateurs en aval).

Pour ce faire, la variation de tension est calculée en considérant une variation de ΔP_{max} de l'Installation de Production.

Le réseau HTA sera simplifié dans les calculs et aura le schéma suivant :

— Si le Poste Source n'alimente qu'un transformateur HTB/HTA

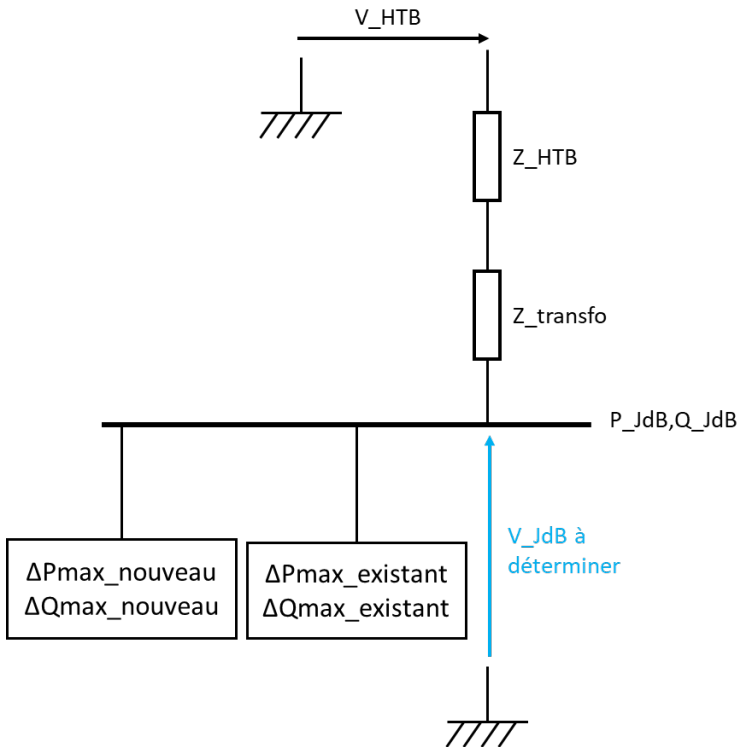


Figure 1 Schéma dans le cas d'un Poste Source avec 1 transformateur HTB/HTA

— Si le Poste Source alimente plus d'un transformateur HTB/HTA

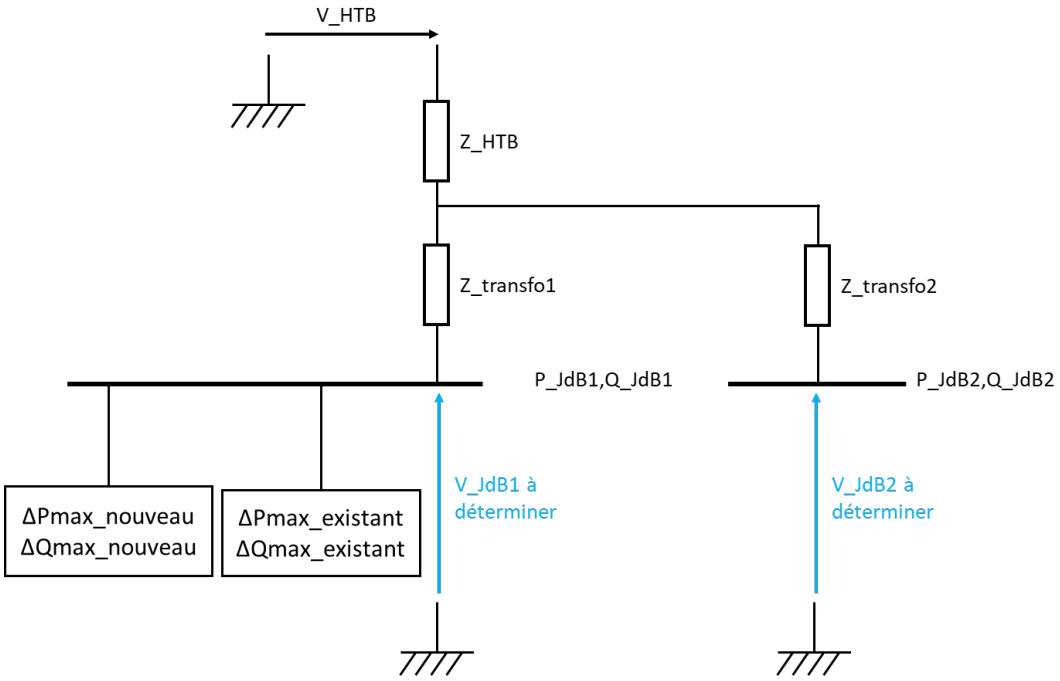


Figure 2 Schéma dans le cas d'un Poste Source avec plus d'un transformateur HTB/HTA (ici 2)

Sur les deux schémas ci-dessus :

- V_HTB est la tension HTB,
- Z_HTB est l'impédance du réseau HTB amont,
- Z_transfo est l'impédance du transformateur HTB/HTA,
- P_JdB est la puissance active transitant au niveau du jeu de barre HTA avant variation volontaire de puissance des Installations susceptibles de le faire,
- Q_JdB est la puissance réactive transitant au niveau du jeu de barre HTA avant variation volontaire de puissance des Installations susceptibles de le faire,
- ΔPmax_nouveau est la variation de puissance active de l'Installation de Production à raccorder,
- ΔQmax_nouveau est la puissance réactive déterminée en fonction de ΔPmax_nouveau et du mode de régulation de l'Installation de Production à raccorder,
- ΔPmax_existant est la somme des variations de puissance active des Installation de Production existantes,
- ΔQmax_existant est la somme des variations de puissance réactive des Installation de Productions existantes déterminées en fonction de leur mode de régulation,
- V_JdB est la tension au niveau du jeu de barre HTA.

Le principe du calcul est de déterminer V_JdB dans 2 situations :

- 1ère situation : les Installations susceptibles d'avoir une variation volontaire de puissance n'ont pas encore fait varier leur puissance. La tension de consigne du transformateur HTB/HTA qui les alimente est tenue. Le rapport de transformation établi par le régleur en charge est déterminé à cette étape et sera considéré comme constant lors de la 2ème étape ;
- 2ème situation : l'Installation de Production à raccorder et les Installations existantes susceptibles de faire varier volontairement leur puissance font varier respectivement leur puissance de ΔPmax_nouveau et ΔPmax_existant.

  La tension au niveau du jeu de barre n'est pas encore régulée. Le rapport de transformation établi lors de la situation 1 sera considéré constant dans cette situation.

La variation de V_JdB entre ces 2 situations correspond à la variation de tension au niveau du jeu de barre ΔV_JdB. Elle ne doit pas dépasser 1 % en valeur absolue.

4.6. Détermination de la solution de raccordement

Suite au calcul de ΔV_JdB entre les 2 situations décrites au § 4.5 :

— si $|\Delta V_JdB| \leq 1\%$ alors le raccordement est possible,

— si $|\Delta V_JdB| > 1\%$ alors l'Installation du Producteur ne pourra pas faire varier sa puissance jusqu'à ΔPmax. La variation de puissance admissible pendant 1 minute sera alors communiquée au Demandeur. Le Demandeur s'engagera alors à ce que la variation de puissance de l'Installation résultant d'une action volontaire soit inférieure ou égale à cette variation de puissance admissible.