

Etude de l'impact sur la tenue thermique et sur le plan de tension des ouvrages en réseau pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA

Indice	Date application	Objet de la modification
A	28/08/2008	Création
B	20/08/2009	Arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n°2007-1826 sur les seuils de tension admissibles en BT et HTA
C	05/08/2011	Logo SRD
D	04/01/2022	Prise en compte des nouvelles dispositions de détection et de levée des contraintes sur les niveaux de tension. Mise à jour des règles de gestion du réactif. Mise à jour du taux d'actualisation et des sections économiques.

Résumé

Ce document décrit l'étude de l'impact sur la tenue thermique et sur le plan de tension des ouvrages en réseau pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA. De plus, il présente la table pratique de choix de section économique des câbles HTA mise à jour annuellement.

Accessibilité	<input checked="" type="checkbox"/> Libre	<input type="checkbox"/> SRD	<input type="checkbox"/> Confidentiel
---------------	---	------------------------------	---------------------------------------

SOMMAIRE

Table des matières

SOMMAIRE	2
1 Object de l'étude.....	3
2 Critère de déclenchement de l'étude.....	3
3 Hypothèses	3
3.1 Modélisation	3
3.2 Données d'entrée	3
3.3 Conditions à respecter	3
4 Détermination de la solution de raccordement	6
4.1 Hypothèses sur le réseau	6
4.2 Hypothèses sur les producteurs.....	8
4.3 Choix de la section de l'antenne de raccordement	12
4.4 Détection et levée des contraintes sur les niveaux de tension.....	12
4.5 Détection et levée des contraintes sur les niveaux de transit	14
4.6 Détermination de la plage de fonctionnement en réactif.....	14
5 Choix de la section des liaisons de raccordement.....	15
5.1 Introduction.....	15
5.2 Principe de choix d'une section économique.....	15
5.3 Application au cas des réseaux de distribution.....	16
5.4 Liaisons communes à plusieurs utilisateurs	17
5.5 Cas des liaisons directes	17
5.6 Cas des liaisons directes en 2 x 240 mm ² ALU	17
5.7 Table de choix des sections économiques.....	17
6 Table pratique pour le choix de la section économique des câbles HTA.....	19

1 Object de l'étude

L'objet de l'étude est de vérifier la tenue thermique des ouvrages de raccordement, le respect des limites hautes des tensions HTA et BT desservies par ce raccordement dans les conditions de production active injectée sur le réseau et les conditions propres à la mise en œuvre d'une régulation de puissance réactive en tangente φ ou selon une loi de régulation locale de puissance réactive de type $Q=f(U)$.

Conformément à la procédure de traitement, toute demande de raccordement HTA pouvant avoir un impact sur le Réseau Public de Transport (RPT) est signalée à RTE afin qu'il vérifie l'absence de contraintes ou précise les adaptations nécessaires sur le réseau.

Les dispositions du présent document s'appliquent à toute installation de production devant faire l'objet d'un premier raccordement à un réseau public de distribution d'électricité dès lors que le gestionnaire de ce réseau n'a pas transmis au Producteur, pour ce raccordement, d'Offre de Raccordement antérieurement au 09 juin 2020. Elles s'appliquent également aux installations de production existantes subissant une modification substantielle, laquelle est définie dans les articles 4 de l'arrêté du 09 juin 2020, dès lors que le gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité n'a pas transmis au Producteur, pour cette modification, d'Offre de Raccordement antérieurement à cette même date.

2 Critère de déclenchement de l'étude

L'étude est réalisée systématiquement, que le raccordement soit prévu sur un ouvrage de distribution existant ou à créer (départ et/ou Point de Livraison).

3 Hypothèses

3.1 Modélisation

Les calculs doivent établir :

- le profil de tension HTA en tout point du réseau,
- la tension en tête des départs BT des postes de distribution publique.

3.2 Données d'entrée

Les données d'entrée sont constituées :

- Des Fiches de Collecte de données du producteur étudié, des Producteurs existants ou en file d'attente,
- De l'état des consommations et des productions existantes sur le réseau.

3.3 Conditions à respecter

3.3.1 Dispositions générales

Pour les ouvrages, les principes à retenir sont :

- Les ouvrages utilisés pour le raccordement doivent présenter une intensité maximale admissible en régime permanent pendant la période de fonctionnement supérieure au transit maximal résultant des productions et consommations ;
- Les ouvrages à construire pour le raccordement du site doivent présenter une section économique déterminée en prenant en compte les pertes de transit et la structure du réseau ;

- le raccordement doit permettre d'assurer la desserte dans les limites des écarts contractuels ou réglementaires de tension HTA et BT dans toutes les conditions prévisibles de production et de consommation.
- Seules les contraintes apparaissant sur le raccordement principal (départ HTA et transformateur HTB/HTA disponibles) en schéma normal et secourant d'exploitation seront levées par une adaptation d'ouvrage ou une modification du point de raccordement.

3.3.2 Tenue thermique des ouvrages HTA

L'étude du producteur est réalisée en prenant en compte la période de fonctionnement envisagée selon la tenue thermique des matériels intégrant notamment les conditions de pose et la proximité des câbles HTA déjà existants.

3.3.3 Dispositions constructives sur les installations

L'arrêté du 9 juin 2020 précise dans son article 43 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation d'énergie électrique :

Les installations de production raccordées au réseau public de distribution d'électricité HTA doit pouvoir fournir ou absorber, au point de livraison, les puissances réactives minimales fixées comme ci-après :

- Lorsque la tension au point de raccordement est égale à la tension contractuelle plus ou moins 5 %, l'unité de production qui délivre la puissance P_{max} doit pouvoir également, sans limitation de durée, fournir une puissance réactive au moins égale à $0,4 \times P_{max}$ ou absorber une puissance réactive au moins égale à $0,35 \times P_{max}$;*
- Lorsque la tension au point de raccordement s'écarte de la tension contractuelle de plus de 5 % et dans la limite de 10 %, l'unité de production doit pouvoir moduler sa production ou sa consommation de puissance réactive dans les limites d'un domaine de fonctionnement minimal défini dans la documentation technique de référence du gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité sous la forme d'un diagramme [U, Q].*

Toutefois, lorsque la capacité de l'unité de production à fournir ou à absorber de la puissance réactive n'est acquise, en totalité ou pour partie, que par l'intermédiaire de l'adjonction d'équipements accessoires, soit à l'intérieur du site de l'installation de production, soit, à titre exceptionnel, en complément des équipements existants du réseau public de distribution d'électricité, l'unité de production peut être initialement raccordée sans ces équipements accessoires, dès lors que l'étude mentionnée à l'article 23 démontre que ceux-ci ne sont pas immédiatement nécessaires

Cette dérogation est subordonnée à l'engagement du producteur à pourvoir ultérieurement à l'adjonction des équipements accessoires susmentionnés à la demande, assortie d'un préavis, du gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité. Cet engagement, les cas pouvant nécessiter sa mise en œuvre, ainsi que le préavis précité doivent figurer dans la convention de raccordement.

Dans tous les cas, la puissance réactive réellement fournie ou absorbée par l'unité de production dans les limites mentionnées aux a et b et le mode de régulation sont déterminés par le gestionnaire du réseau de distribution d'électricité conformément aux principes mentionnés dans sa documentation technique de référence en fonction des impératifs de gestion du réseau. Les dispositions du présent alinéa sont précisées en tant que de besoin dans les conventions de raccordement et d'exploitation.

Ces dispositions constructives sont applicables pendant la durée d'exécution de la Convention de Raccordement. Toutefois, le producteur peut choisir de satisfaire, pour la mise en service du site, aux dispositions constructives minimales compatibles avec les exigences de SRD en termes de fourniture de puissance réactive précisées dans le Contrat d'Accès au Réseau.

NB : Par la suite, le distributeur peut demander au producteur d'augmenter ou de diminuer la production ou la consommation de réactif dans les limites de l'arrêté du 09 juin 2020 (c. à d. $[-0,35 \times P_{\max} ; 0,4 \times P_{\max}]$) pour satisfaire au respect des plages de tension définies :

- Pour la BT, par les engagements de l'arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007 relatif aux niveaux de qualité et aux prescriptions techniques en matière de qualité des réseaux publics de distribution et de transport d'électricité
- HTA, par les engagements des contrats d'accès en soutirage et en injection comportant les clauses d'accès au réseau.

Dans le cadre de la mise en place d'une loi de régulation locale de puissance réactive de type $Q=f(U)$, le producteur peut indiquer dans les fiches de collecte les capacités constructives de son installation en puissance réactive à prendre en compte dans l'étude de raccordement. Celles-ci peuvent aller au-delà des capacités minimales réglementaires décrites ci-dessus.

Les valeurs de capacité constructives Q_{\max} et Q_{\min} communiquées doivent respecter les relations suivantes :

- Puissance réactive maximale en injection : $0,4 \times P_{\text{racc inj}} \leq Q_{\max}$
- Puissance réactive maximale en absorption : $-0,5 \times P_{\text{racc inj}} \leq Q_{\min} \leq -0,35 \times P_{\max}$

4 Détermination de la solution de raccordement

4.1 Hypothèses sur le réseau

Les éventuelles contraintes d'intensité et de tension doivent être étudiées avec tous les producteurs à production maximale (y compris les producteurs dans la file d'attente) et à consommation minimale, le réseau étant en schéma normal et secourant d'exploitation.

4.1.1 Conducteurs HTA

L'étude prend en compte, conformément aux normes en vigueur :

- L'intensité admissible des câbles, hiver et/ou été selon la période de fonctionnement de l'Installation de Production,
- Pondérée des coefficients de réduction relatifs aux proximités des câbles.

Les impédances et la tenue thermique des conducteurs figurent dans les comptes rendus de résultats d'études.

4.1.2 Consommations

La puissance active consommée du départ du Producteur est minimale. La consommation minimale du départ sera déterminée par application d'un coefficient de réduction R sur la P'max :

- $R = \text{ratio [Pmin réelle sur la période de production / P'max]}$ du départ HTA du producteur,
- à défaut $R = \text{ratio [Pmin réelle sur la période de production / P'max]}$ du transfo HTB/HTA,
- à défaut $R = 0,2$.

La puissance « P'max » d'un départ est la somme des contributions des charges consommatrices C5 à la pointe, toute(s) production(s) décentralisée(s) découplée(s).

Etant donné que tous les utilisateurs consommateurs n'atteignent pas leur pointe simultanément, un facteur de foisonnement est utilisé pour prendre en compte la contribution de chaque utilisateur à la pointe globale du départ HTA.

A défaut de mesure précise de tangente φ , les charges consommatrices existantes seront considérées à tangente $\varphi = 0,4$.

4.1.3 Données de réglage du plan de tension

L'étude d'impact sur la tension est réalisée avec les hypothèses reflétant

- Les réglages existants au poste source, et avec des prises optimisées sur les transformateurs HTA/BT.
- L'impact en tension des charges consommatrices existantes à puissance minimale et des productions existantes et en file d'attente.

La tension de consigne est la valeur de la consigne de tension du régulateur en charge du transformateur source HTB/HTA. Celui-ci ajuste le rapport de transformation du transformateur de manière à ce que la tension mesurée en aval du transformateur soit la plus proche possible de la tension de consigne.

La valeur de la tension de consigne du régulateur au Poste Source est dans la plage $[U_n + 2\% ; U_n + 4\%]$.

L'étude prend en compte un incrément de 1,6 % dû à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régulateur. La tension de consigne au poste source est optimisée en fonction du profil de tension sur la HTA et la BT aux différents profils de charge, cette valeur ne peut pas être modifiée.

Si la tension de consigne du régulateur au poste source est fixe, le calcul doit prendre en compte la valeur de consigne existante U_0 . On ne baisse pas la tension de consigne sauf s'il y a surtension à l'état initial.

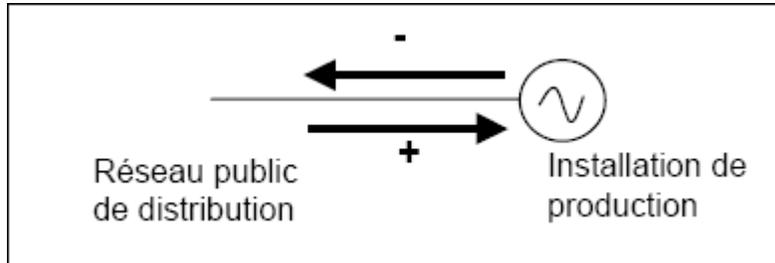
Si la tension de consigne du régleur au poste source est variable avec la charge (compoundage), la tension de consigne de référence est prise égale à $U'_0 = U_0 + (P_{\min}/P_{\max}) * \tau_{\text{compoundage}}$ avec :

- U_0 consigne de tension à vide du régleur,
- U_{consigne} consigne de tension à pleine charge,
- $\tau_{\text{compoundage}} = U_{\text{consigne}} - U_0$.

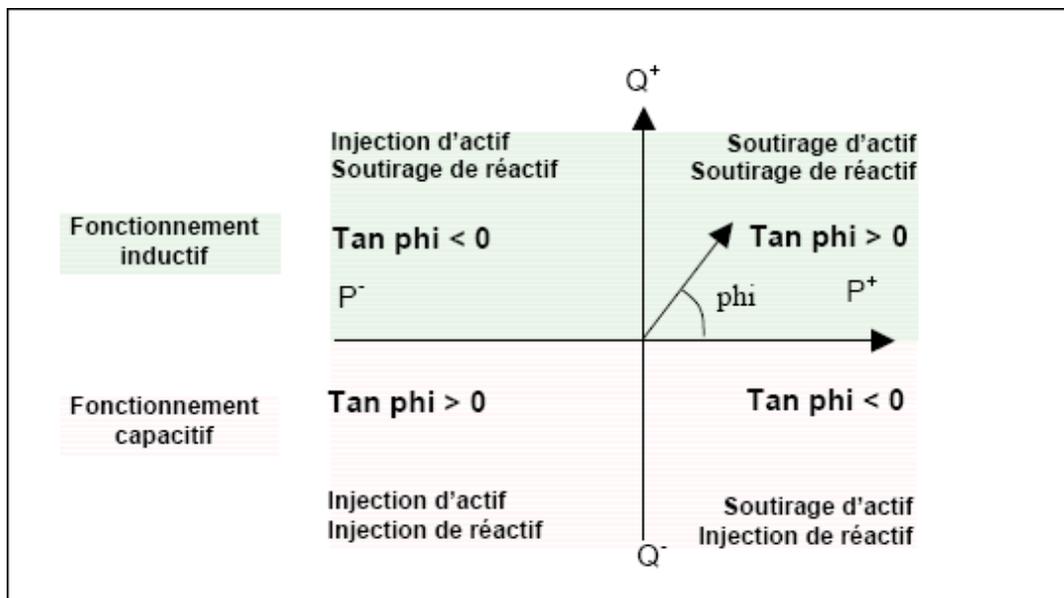
4.2 Hypothèses sur les producteurs

4.2.1 Convention utilisée

Les figures ci-dessous présentent la convention utilisée pour l'injection (ou la fourniture) et le soutirage (ou la consommation) d'énergie.



	Puissance et énergie active	Puissance énergie réactive
Injection	P^- et EP^-	Q^- et EQ^-
Soutirage	P^+ et EP^+	Q^+ et EQ^+



4.2.2 Producteurs existants

Chaque producteur existant est pris en compte de la façon suivante :

- La puissance **active maximale** injectée pendant la période étudiée,
- La valeur de fourniture de réactif (ou le cas échéant la loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$) figurant dans les clauses d'Accès au Réseau (Contrat d'Achat avant loi 2000 ou CARD I) pour la période de faible charge pendant la période étudiée.

Si la valeur de réactif n'est pas indiquée pour la période d'étude considérée, on retiendra tangente $\varphi = 0$.

4.2.3 Producteurs en attente

Chaque producteur en attente est pris en compte de la façon suivante :

- la puissance **active maximale** qu'il est en mesure d'injecter pendant la période étudiée,
- la valeur maximale de tangente φ de fonctionnement (ou le cas échéant la loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$) issue de l'étude.

4.2.4 Producteur étudié

Le producteur étudié est pris en compte pour la puissance maximale qu'il est en mesure d'injecter sur le réseau pendant la période étudiée. Cette puissance de production maximale nette livrée au réseau public correspond à la puissance de raccordement en injection.

4.2.5 Puissance active maximale injectée sur le réseau = Puissance de raccordement ($P_{\max \text{ prod}}$)

Cette puissance est calculée par le demandeur à partir de la puissance nominale de fonctionnement des ouvrages de production installés déduction faite de la consommation minimale des auxiliaires et des autres consommations minimales uniquement si ces dernières soutirent conjointement lors des périodes de production.

4.2.6 Puissance réactive injectée ou soutirée sur le réseau

Les hypothèses de fourniture ou de soutirage de puissance réactive sur le réseau sont formulées en tangente φ de production égale au rapport de la puissance réactive injectée ou absorbée au PDL sur la puissance active injectée au PDL, en tenant compte de la plage de régulation de cette puissance réactive.

Une tangente φ contractuelle est fixée en tenant compte de la plage de régulation de cette puissance réactive (dispositions de l'arrêté du 09 juin 2020).

Le Producteur indique dans les fiches de collectes s'il souhaite que SRD étudie en priorité un mode de régulation du type « loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$ » afin que SRD l'étudie en priorité pour déterminer la solution de raccordement. A défaut, seul le mode de régulation tangente φ sera étudié.

Au final l'étude de raccordement déterminera le mode de régulation qui devra être appliqué par l'Installation de Production, celui-ci pouvant être une loi tangente φ fixe ou une loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$.

NB : le mode de régulation « Régulation locale de puissance réactive selon une loi du type $Q=f(U)$ » n'est possible que pour un raccordement sur un départ existant. Pour un raccordement par départ direct au Point de Livraison, le mode de régulation sera obligatoirement une tangente φ contractuelle.

Régulation selon une loi tangente φ fixe au Point de Livraison

Les hypothèses de fourniture ou de soutirage de puissance réactive sur le réseau sont formulées de la manière suivante :

- **Pour un site à raccorder à un départ HTA existant**, par défaut la tangente φ contractuelle de référence sera 0 et le bandeau de fonctionnement autorisé de largeur $E=0,1$ sera en injection ($[0 ; 0,1]$). Toutefois, si une autre valeur de tangente φ permet de lever les contraintes de plan de tension, cette valeur (dans les limites des dispositions constructives de l'arrêté du 09 juin 2020) sera retenue ;
- **Pour un site à raccorder à un départ direct au Point de Livraison**, la tangente φ contractuelle de référence sera 0. Le bandeau de fonctionnement autorisé de largeur $E=0,1$ pourra être en injection ($[0 ; 0,1]$) ou en absorption de réactif ($[-0,1 ; 0]$), et sera déterminé par SRD en fonction de la situation du réseau de raccordement.

Note 1 : que le producteur étudié soit un producteur pur ou un client producteur, la tangente φ de calcul est considérée au PDL (et non pas dans son installation intérieure).

Note 2 : en présence de plusieurs producteurs sur le même départ, on recherche un partage de l'énergie réactive à soutirer au prorata des puissances produites.

Note 3 : Dans le cadre de l'étude du risque d'atteinte de la butée du régulateur en charge du transformateur HTB/HTA au Point de Livraison, SRD peut être amené à diminuer la tangente φ du producteur étudié, pouvant aller jusqu'à de l'absorption de puissance réactive, dans la limite des capacités constructives réglementaires.

Régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$

Un système de régulation doit permettre d'adapter de manière dynamique la production ou la consommation d'énergie réactive de l'Installation de Production en fonction de la tension mesurée. Le schéma ci-dessous précise le paramétrage que doit respecter la loi de réglage :

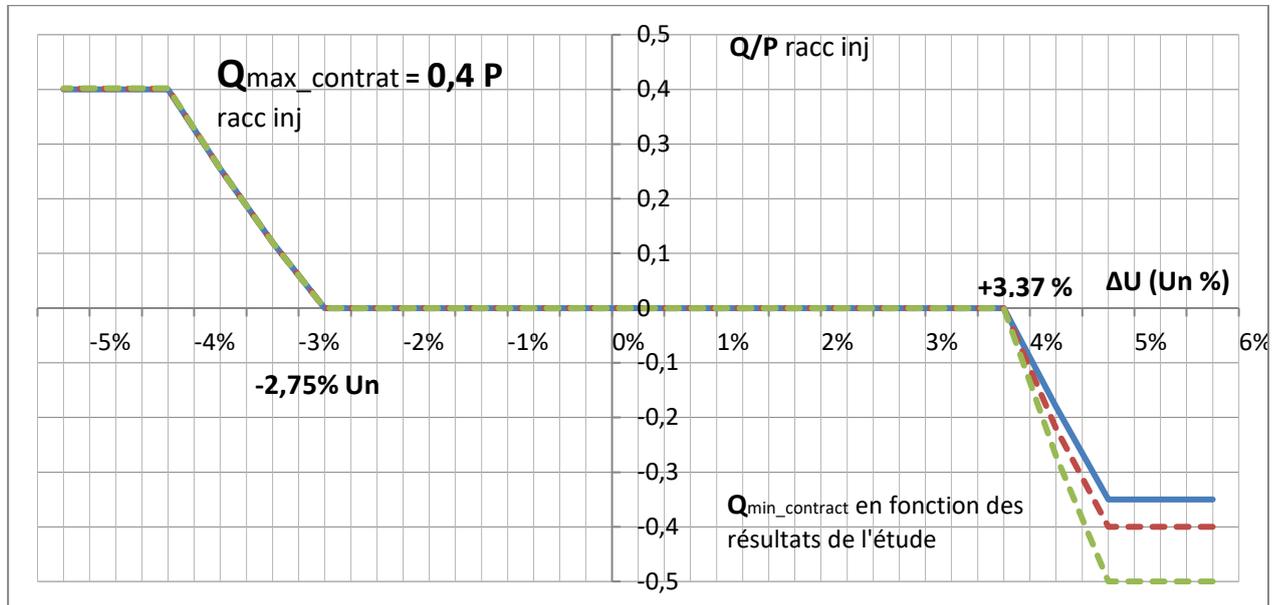


Figure 1: Exemple de loi de régulation locale $Q=f(U)$

L'étude de raccordement permet de déterminer les paramètres de la loi de régulation qui seront contractualisés dans le CARD-I :

- Le seuil de puissance réactive maximale en injection ($Q_{\text{max_contract}}$) est pris égal à $0,4 \times P_{\text{racc inj}}$.
- Le seuil de puissance réactive maximale en absorption ($Q_{\text{min_contract}}$) est déterminé en fonction des capacités constructives communiquées par le Demandeur dans ses Fiches de Collecte en respectant les critères suivants : $-0,5 \times P_{\text{racc inj}} \leq Q_{\text{min}} \leq Q_{\text{mincontract}} \leq -0,35 \times P_{\text{racc inj}}$.

En intégrant les capacités constructives de l'Installation fournies dans la demande du Producteur, SRD proposera une Offre de Raccordement de Référence (ORR) minimisant les coûts d'Installation et la sollicitation en réactif ($Q_{\text{min_contract}}$). Toutefois, si l'étude de raccordement détecte une contrainte de tension sur le départ HTA avec une loi de régulation locale et que cette contrainte peut être levée par une régulation en tangente φ fixe, alors cette solution sera proposée dans l'Offre de Raccordement car elle correspond à l'ORR.

Dès lors que le Producteur acceptera l'Offre de Raccordement, il devra mettre en œuvre la régulation correspondante à cette Offre de Raccordement.

Vérification de l'énergie réactive et tolérance (bandeau de facturation)

La vérification de l'énergie réactive se basera sur une valeur mensuelle ou 10 minutes en fonction du mode de régulation déterminé lors de l'étude de raccordement.

Pour une régulation en tangente φ : la tangente de calcul correspond à la borne haute de la plage de régulation: elle sera égale à la tangente φ de production minimale demandée à la mise en service du site augmentée de l'incertitude $E = 0,1$ de la régulation.

Pour une régulation locale de puissance réactive : la vérification de l'énergie réactive sera effectuée par période 10 minutes, sur la base notamment de la puissance réactive mesurée et de celle attendue selon la loi de régulation indiquée contractuellement. Une tolérance de $\pm 5\%$ P_{max} sera appliquée pour chaque point 10 minutes mesuré.

Note 1: Que le Producteur Etudié soit un Producteur pur ou un Producteur Consommateur, la tangente φ (ou la loi de régulation locale de puissance réactive) est considérée au Point De Livraison (et non pas dans son installation intérieure).

4.3 Choix de la section de l'antenne de raccordement

L'annexe A précise la méthode de détermination de la section économique de l'Antenne de raccordement.

4.4 Détection et levée des contraintes sur les niveaux de tension

La vérification porte sur :

- L'absence de tension haute au point de raccordement de chacun des clients alimentés par le départ considéré
 - Pour les clients BT, la vérification porte sur l'absence de tension supérieure à $U_n + 10\%$, U_n étant la tension nominale d'alimentation ;
 - Pour les clients HTA, la vérification porte sur l'absence de tension supérieure à $U_c + 5\%$, U_c étant la tension contractuelle de chaque installation ;
 - Pour les transformateurs de distribution publique HTA/BT, la vérification porte sur l'absence de tension supérieure à $U_n + 7,5\%$ au secondaire du transformateur, U_n étant la tension nominale d'alimentation
- L'absence de saturation des départs HTA par la production HTA ou BT. Deux situations sont possibles :
 - Sur un départ "mixte", partagé entre la production et la consommation, l'effet cumulé des producteurs HTA et BT, à consommation minimale, ne doit pas générer le long de ce départ HTA d'élévation de tension supérieure à 2,5% de la tension de consigne,
 - Sur un départ direct producteur, l'effet cumulé des producteurs HTA ne doit pas générer le long de ce départ HTA d'élévation de tension supérieure à 7% de la tension de consigne.

La tension de consigne du régleur peut être modifiée pour accueillir la puissance du producteur demandeur, dans les limites de la plage [$U_n + 2\%$; $U_n + 4\%$], dès lors que cette modification ne porte pas préjudice au respect des engagements vis-à-vis des autres utilisateurs du réseau portant sur les tensions nominales (U_n) correspondant aux tensions BT et HTA telles que définies dans l'arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007.

Ces dispositions permettent de garantir l'accueil sur le réseau de distribution de l'ensemble des utilisateurs au moindre coût pour la collectivité et le respect des engagements contractuels existants. Elles permettent notamment de s'assurer du respect des engagements portant sur les tensions nominales (U_n) correspondant aux tensions BT et HTA telles que définies dans l'arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007:

- la tension des clients HTA raccordés, tension haute devant être inférieure ou égale à $U_c + 5\%$ ($U_c =$ tension contractuelle figurant au Contrat d'Accès),
- la tension BT délivrée par les postes DP, tension haute devant être inférieure ou égale à $253V$, $U_n + 10\%$ $U_n =$ tension nominale telle que décrite dans l'arrêté du 24 décembre 2007 pour la basse tension BT, 230/400 volts, soit 230 volts en monophasé, c'est-à-dire entre l'une quelconque des trois phases et le neutre et 400 volts en triphasé, c'est-à-dire entre deux quelconques des trois phases. S'il existe en plus un producteur raccordé en BT sur un des postes DP desservis par le départ du Producteur Etudié, il est nécessaire de vérifier que le raccordement ne provoque pas d'élévation de tension inacceptable sur le réseau BT concerné.

Pour un raccordement sur un départ existant mixte (comportant de la consommation), lorsqu'une contrainte de tension haute HTA et/ou BT est détectée, on cherche à la lever en appliquant les étapes suivantes :

- en première étape en réduisant le réactif fourni par les Installations de Production déjà raccordées sur le départ et régulées selon une loi tangente φ fixe, de façon à ce que la valeur de la puissance réactive injectée par l'ensemble des Producteurs sur les départs compense la puissance réactive appelée par les charges, soit $0,4 \times P_{min}$ du départ. Cette approche a pour objet de rechercher à minimiser les pertes sur le départ ;

➤ Si le Demandeur a indiqué dans ses Fiches de Collecte qu'il souhaite qu'SRD étudie en priorité une solution de raccordement avec loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$

En ajustant le seuil de puissance réactive maximale en absorption ($Q_{min_contrat}$) en fonction des capacités constructives communiquées par le Demandeur en respectant les critères suivants : SRD proposera au producteur l'Offre de Raccordement de référence intégrant les capacités constructives de l'Installation fournies dans la demande, minimisant ainsi les coûts de raccordement et la sollicitation en puissance réactive ($Q_{min_contrat}$).

Si la solution de raccordement le permet, $Q_{min_contrat}$ sera fixé égal à $-0,35 \times P_{praccinj}$. Le cas échéant, et si les capacités constructives en puissance réactive déclarées dans les Fiches de Collecte le permettent, la valeur $Q_{min_contrat}$ pourra être abaissée, dans la limite de $-0,5 \times P_{praccinj}$.

Une loi de régulation en tangente φ fixe pourra être testée (dans la limite $[-0,35 ; 0,4]$). Celle-ci sera prescrite

uniquement si elle permet un raccordement moins cher que la loi de régulation locale $Q=f(U)$.

➤ **Si le Demandeur a indiqué vouloir bénéficier d'une Offre de Raccordement avec une loi tangente φ fixe**

En réduisant le niveau de réactif fourni par l'Installation de Production, voire à demander un soutirage de réactif en période de faible charge. L'étude sera effectuée en retenant des valeurs de tangente φ dans les limites des dispositions constructives réglementaires.

➤ **Dans tous les cas :**

- En réduisant le niveau de réactif fourni par les Installations existantes régulées en tangente φ , voire à demander un soutirage de réactif en période de faible charge. Cette approche ne permet pas de minimiser les pertes sur le départ. L'étude sera effectuée en retenant des valeurs de tangente φ dans les limites des dispositions constructives mentionnées dans les textes réglementaires auxquels sont soumises les différentes Installations de Production ;
- En modifiant la tension de consigne du régulateur pour accueillir la puissance du producteur Demandeur, dans les limites de la plage [$U_n + 2\%$; $U_n + 4\%$], dès lors que cette modification ne porte pas préjudice au respect des engagements vis-à-vis des autres utilisateurs du réseau portant sur les tensions nominales (U_n) correspondant aux tensions BT et HTA telles que définies dans l'arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007 ;
- En adaptant la solution de raccordement du producteur au minimum technique dans le respect de la section économique : si utilisation d'un départ HTA existant, adaptation de ce départ, déplacement du point de raccordement vers le Point de Livraison, création d'un départ direct au Point de Livraison.

4.5 Détection et levée des contraintes sur les niveaux de transit

Les calculs sont réalisés sur le raccordement du producteur comprenant le transformateur HTB/HTA du poste source et tous les tronçons du départ HTA de raccordement décrits dans la base de données HTA à leur tenue thermique.

La vérification porte sur :

- le respect des tenues thermiques au transit permanent,
- la limitation des pertes de transit par le choix d'une section économique pour les ouvrages à créer ou à renforcer (voir annexe A de la présente fiche).

Si une contrainte de transit HTA est détectée, on cherche à la lever par adaptation du raccordement du producteur : adaptation départ, départ direct.

4.6 Détermination de la plage de fonctionnement en réactif

Nota 1 : Dans un cas d'utilisation d'un régulateur de tangente ϕ , la fourniture (ou le soutirage) de réactif ne peut être fixée sous forme d'une valeur fixe, mais sous la forme d'une plage permettant à l'installation de réguler sans dépasser les dispositions contractuelles.

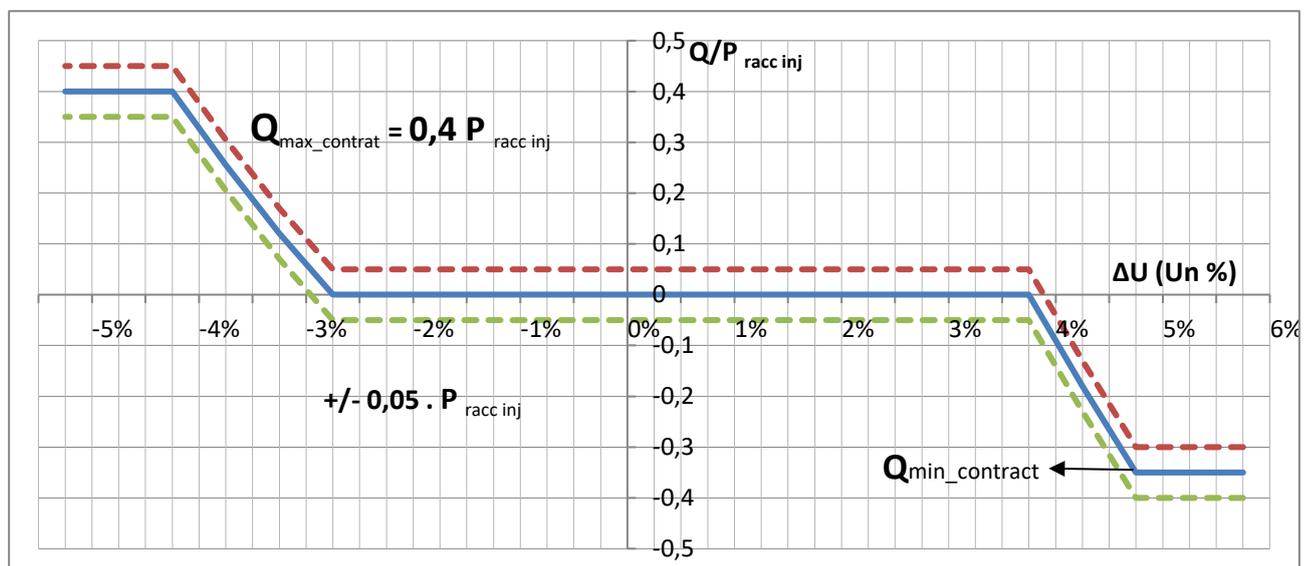
- si le raccordement se fait par un départ direct au Point de Livraison : le bandeau de fonctionnement autorisé de largeur $E=0,1$ pourra être en injection ($[0 ; 0,1]$) ou en absorption de réactif ($[-0,1 ; 0]$) et sera déterminé par SRD en fonction de la situation du réseau de raccordement ;
- si le raccordement se fait sur un départ existant : par défaut la tangente ϕ contractuelle de référence sera 0 et le bandeau de fonctionnement autorisé de largeur $E=0,1$ sera en injection ($[0 ; 0,1]$). Toutefois, si une autre valeur de tangente ϕ permet de lever les contraintes de plan de tension, cette valeur (dans les limites des dispositions constructives de l'arrêté du 09 juin 2020) sera retenue ;

Nota 2 : La puissance maximale active injectée et soutirée sur le réseau éventuellement limitée à une période de l'année et la plage de réglage de la puissance réactive correspondante issue de l'étude de raccordement devront être mentionnées dans le contrat d'injection et les conventions de raccordement et d'exploitation.

Les valeurs des consignes et les conditions de fourniture de puissance réactive sont indiquées par le contrat d'injection et rappelées dans la convention d'exploitation.

Nota 3 : Dans le cas d'une régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$, l'étude prend en compte le bandeau de facturation qui sera contractualisé dans le contrat CARD ($\pm 5\%$ Pracc inj).

La loi de régulation prise en compte dans l'étude est représentée ci-dessous.



5 Choix de la section des liaisons de raccordement

5.1 Introduction

La section minimale des câbles électriques de puissance doit être suffisante pour satisfaire aux conditions essentielles de fonctionnement qui sont :

- La tenue aux échauffements en régime normal de fonctionnement et en régime de défaut en court-circuit,
- La limitation des écarts de tension pour assurer le respect des niveaux de tension admissibles par les équipements alimentés.

Le montant annuel des pertes d'énergie induites par le transit dans un câble peut représenter une part non négligeable de son coût d'établissement.

Dans ces conditions, le choix d'une section supérieure à la section minimale est de nature à permettre une réduction du coût total de revient de la liaison. Ce coût de revient est formé de la somme du coût d'établissement (fourniture + Installation) et du coût total d'exploitation (maintenance + pertes d'énergie), chacun de ces termes variant en sens inverse pour une section croissante du câble.

Ce point est d'autant plus important lorsque la liaison est destinée à un usage intensif et est amortie sur une longue durée.

5.2 Principe de choix d'une section économique

Le principe du choix d'une section économique développé ci-après est aussi proposé dans la plupart des catalogues des fournisseurs de câbles. La section économique d'une liaison électrique est celle qui présente le coût de revient, somme du coût d'établissement (E) et du coût d'exploitation (D) actualisé minimal.

- Le coût d'établissement d'une liaison (E) est constitué de la somme des coûts d'achat du câble, de ses accessoires et des travaux de pose. Son expression est de la forme :

$$E = (g + c + \alpha S) L$$

L longueur de liaison.

g coût linéaire indépendant de la section pour un domaine d'application considéré (travaux de génie civil, de déroulage et de fourniture et mise en œuvre des accessoires de réseau).

c + αS coût de fourniture du câble, formé d'un coût fixe et d'un coût proportionnel à la section.

- L'expression du coût d'exploitation annuel (d) peut, à technologie constante, se limiter au seul coût des pertes d'énergie induites par la résistance linéique des conducteurs. Son expression annuelle est de la forme :

$$d = 3 L R I^2 h W \cdot 10^{-3}$$

L longueur de liaison.

R résistance linéique d'un conducteur de phase à la température de fonctionnement,

I intensité à transporter en Ampères ou moyenne quadratique de cette intensité si elle n'est pas constante.

h nombre d'heure de service de la liaison dans l'année, 2473 heures pour les parcs éoliens, 1314 heures pour les parcs photovoltaïques et 8000 heures pour les parcs biogaz.

W coût du kWh d'énergie électrique.

Toutefois, les dépenses d'établissement et d'exploitation n'ayant pas la même échéance, elles ne peuvent être additionnées sans actualisation. Le taux d'actualisation financière a pour objectif de ramener les coûts annuels à des dépenses engagées à l'année initiale de la période d'utilisation.

En considérant que le coût d'exploitation annuel (d) est payé en fin d'année tout au long de la durée de vie de la liaison, l'expression du coût d'exploitation (D), actualisé à l'année initiale d'établissement est :

$$D = d \left[\frac{1}{(1+t)} + \frac{1}{(1+t)^2} + \dots + \frac{1}{(1+t)^N} \right] = d \left[\frac{(1+t)^N - 1}{t (1+t)^N} \right] = d A$$

t taux annuel d'actualisation.

N durée d'amortissement de la liaison.

Le terme $A = \frac{(1+t)^N - 1}{t (1+t)^N}$ est donné par les tables financières.

Le coût de revient total d'une liaison peut donc s'exprimer sous la forme = E + D

5.3 Application au cas des réseaux de distribution

Le principe de recherche de la section économique appliqué aux réseaux de distribution suit naturellement les règles générales et se pose avant chaque extension ou modification d'ouvrage. Les données économiques générales retenues pour tous les ouvrages relevant du réseau public de distribution sont :

- un taux annuel d'actualisation de 4,5% et une durée d'amortissement de 40 ans,
- un coût de l'énergie égal au coût d'acquisition des pertes compensées par SRD.

Les données techniques particulières aux liaisons sont :

- les sections préférentielles et la nature des conducteurs disponibles dans la gamme des câbles retenue par SRD,
- les surcoûts d'établissement liés au passage d'une section à la section supérieure dans la gamme de câble retenue par le gestionnaire de réseaux,
- les intensités à transiter par les tronçons de réseau à modifier ou à créer ainsi que leur durée annuelle d'utilisation. L'intensité transitée sera calculée à partir de la puissance apparente maximale de fonctionnement (et dépendra donc de la tan phi maximale de fonctionnement initial).

Comme certaines des données techniques et économiques utilisées pour le choix de la section économique d'un ouvrage sont confidentielles du fait de leur sensibilité commerciale pour SRD, les informations relatives au choix de la section économique des réseaux de distribution sont agrégées en y distinguant les liaisons à l'usage de plusieurs utilisateurs de celles directes au seul demandeur d'un raccordement.

5.4 Liaisons communes à plusieurs utilisateurs

Ce cas concerne notamment les modifications ou créations de liaisons électriques communes au raccordement de plusieurs utilisateurs. Dans ce cas, la liaison à réaliser s'inscrit dans la structure du réseau de distribution, sa section doit être adaptée en conséquence et donc correspondre à la plus forte des sections suivantes :

- Section minimale déterminée par les études de contraintes de tension et de tenue thermique,
- Section économique déterminée pour les besoins du demandeur,
- Section maximale de l'ossature du départ HTA de raccordement si le raccordement contribue à son allongement.

5.5 Cas des liaisons directes

La section doit être adaptée au besoin du site à raccorder et donc correspondre à la plus forte des sections suivantes :

- Section minimale déterminée par les études de contraintes de tension et de tenue thermique,
- Section économique déterminée pour les besoins du demandeur.

La section économique est déterminée en fonction des informations transmises par le demandeur ou à défaut par des données moyennes. Les informations nécessaires sont :

- Les puissances maximales de soutirage et d'injection demandées,
- Les durées annuelles d'utilisation prévues en soutirage et en injection,
- Les quantités annuelles d'énergie électrique soutirée et injectée.

A défaut des données relatives à la durée annuelle d'utilisation et des quantités annuelles d'énergie électrique, il est retenu la valeur maximale des installations comparables.

5.6 Cas des liaisons directes en 2 x 240 mm² ALU

Dans le cas où même une solution avec un câble en 240 Cu n'est techniquement pas possible pour des contraintes (tenue thermique, élévation de tension, court-circuit et plan de protection) une solution en 2 x 240 Alu peut être étudiée dans la limite des 17 MW autorisés par la réglementation en vigueur.

Le raccordement du site est alors réalisé au moyen de 2 liaisons similaires en câble 240 mm² Alu issues de 2 départs HTA 400 A du même transformateur HTB/HTA et de la même demi-rame HTA.

Afin de respecter le palier technique de la protection wattmétrique homopolaire au Poste Source, la longueur de ces liaisons devra rester inférieure à 42 km soit 2 fois 21 km. Les 2 départs sont exploités en parallèle.

Les règles d'études et préconisations précisées dans ce document pour un départ direct sont identiques dans le cas de liaisons directes en 2 x 240 mm² Al.

Les cellules départs au Poste Source sont de calibre 400 A.

Au poste de livraison, les cellules arrivées peuvent être des interrupteurs de courant assigné 400 A selon la puissance maximale transitant dans chaque liaison ; l'appareillage en aval (jeu de barres, disjoncteur HTA notamment) doit être de calibre adapté à la puissance de raccordement demandée par l'utilisateur.

En cas de défaut sur l'un des câbles, les départs sont mis hors tension simultanément. Si l'autre câble est sain, il pourra être remis sous tension une fois que le câble en défaut est identifié pour permettre l'injection d'une partie de la puissance.

5.7 Table de choix des sections économiques

Le choix de la section économique est effectué en fonction de la puissance maximale à transiter et de la durée d'utilisation annuelle de cette puissance pour les installations fonctionnant tout au long de l'année.

Le choix de la section à poser est établi a priori en fonction des tableaux de choix mis à jour annuellement. Les tableaux de choix sont établis en fonction des coûts moyens des pertes et de fourniture des différents câbles. Le demandeur d'un raccordement peut sur sa demande, connaître la puissance maximale des pertes épargnées par le passage à la section économique et le différentiel de coût d'établissement correspondant.

Les tableaux des sections économiques permettent d'identifier la solution la plus pertinente économiquement. Cette sélection doit être complétée par une étude électrique (qui permet de vérifier que la solution répond aux contraintes d'intensité et de tension) qui permettra de valider le choix du câble.

6 Table pratique pour le choix de la section économique des câbles HTA

Ces tableaux de choix sont mis à jour annuellement.

Parc BIOGAZ			
Câble			Puissance (MW)
	Type	Section	
Souterrain	Alu	150 mm ²	$P \leq 1,5$ MW
Souterrain	Alu	240 mm ²	$1,5 < P \leq 7$ MW
Souterrain	Cu	240 mm ²	$7 < P \leq 16,7$ MW
Souterrain	Alu	2x240 mm ²	$16,7 < P \leq 17$ MW

Parc Photovoltaïque			
Câble			Puissance (MW)
	Type	Section	
Souterrain	Alu	150 mm ²	$P \leq 5$ MW
Souterrain	Alu	240 mm ²	$5 < P \leq 13$ MW
Souterrain	Cu	240 mm ²	$13 < P \leq 16,7$ MW
Souterrain	Alu	2x240 mm ²	$16,7 < P \leq 17$ MW

Parc Eolien			
Câble			Puissance (MW)
	Type	Section	
Souterrain	Alu	150 mm ²	$P \leq 3,8$ MW
Souterrain	Alu	240 mm ²	$3,8 < P \leq 13$ MW
Souterrain	Cu	240 mm ²	$13 < P \leq 16,7$ MW
Souterrain	Alu	2x240 mm ²	$16,7 < P \leq 17$ MW