

# 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

Identification : **Enedis-PRO-RES\_05E**

Version : **11**

Nb. de pages : **17**

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	20/07/2005	Création	
2	01/05/2006	Mise à jour des tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA	
3	01/04/2008	Mise à jour des règles de gestion du réactif	NOP-RES_42E
4	01/07/2009	Prise en compte du décret & arrêté qualité du 24 décembre 2007 et du décret n°2008-386 & de l'arrêté du 23/04/08	
5	01/03/2011	Prise en compte des nouvelles dispositions de réglage de la tension HTA et BT	
6	15/03/2015	Mise à jour des tables de choix des sections des câbles HTA	
7	01/02/2016	Prise en compte de la nouvelle identité visuelle d'ERDF et de la loi de régulation locale de puissance réactive	
8	06/07/2016	Liaisons directes 2 x 240 mm <sup>2</sup> Alu	
9	15/02/2017	Prise en compte de la nouvelle dénomination sociale Enedis	ERDF-PRO-RES_05E
10	25/06/2018	Calcul du ratio Pmin/P*max et contraintes en schéma secourant	
11	08/01/2019	Introduction d'un nouveau câble HTA dans les tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA	

## Résumé / Avertissement

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 les tables pratiques de choix de section économique des câbles HTA.

# SOMMAIRE

<b>1. Objet de l'étude.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Critère de déclenchement de l'étude.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Hypothèses.....</b>	<b>3</b>
3.1. Modélisation.....	3
3.2. Données d'entrée.....	3
3.3. Conditions à respecter.....	4
3.3.1. Dispositions générales.....	4
3.3.2. Tenue thermique des ouvrages HTA.....	4
3.3.3. Dispositions constructives sur les Installations.....	4
<b>4. Détermination de la solution de raccordement.....</b>	<b>5</b>
4.1. Hypothèses sur le réseau.....	5
4.1.1. Conducteurs HTA.....	5
4.1.2. Consommations.....	5
4.1.3. Données de réglage du plan de tension.....	5
4.2. Hypothèses sur les producteurs.....	6
4.2.1. Convention utilisée.....	6
4.2.2. Producteurs Existants.....	7
4.2.3. Producteurs en File d'Attente.....	7
4.2.4. Producteur Etudié.....	7
4.2.5. Puissance active maximale injectée sur le réseau = Puissance de raccordement en injection (Pracc inj).....	7
4.2.6. Puissance réactive injectée ou soutirée sur le réseau.....	7
4.3. Choix de la section de l'Antenne de raccordement.....	9
4.4. Détection et levée des contraintes sur les niveaux de tension.....	9
4.5. Détection et levée des contraintes sur les niveaux de transit.....	10
4.6. Détermination de la plage de fonctionnement en réactif.....	11
<b>5. Annexe A - Choix de la section de l'antenne de raccordement.....</b>	<b>12</b>
5.1. Introduction.....	12
5.2. Principe de choix d'une section économique.....	12
5.3. Application au cas du Réseau Public de Distribution.....	13
5.4. Liaisons communes à plusieurs utilisateurs.....	13
5.5. Cas des liaisons directes.....	14
5.6. Cas des liaisons directes en 2 x 240 mm <sup>2</sup> Al.....	14
5.7. Cas du câble 400 mm <sup>2</sup> Alu.....	15
5.8. Tables de choix des sections économiques.....	15
<b>6. Tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA.....</b>	<b>16</b>

## 1. Objet 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 un raccordement en HTA dans les conditions de production active injectée sur le réseau et les conditions de mise en œuvre d'une régulation de puissance réactive en tangente  $\varphi$  ou selon une loi de régulation locale de puissance réactive de type  $Q=f(U)$ .

Conformément à la procédure de traitement des demandes de raccordement, 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 RPT.

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<sup>1</sup> antérieurement au 25 avril 2008. Elles s'appliquent également aux Installations de Production existantes subissant une modification substantielle, laquelle est définie dans les articles 1 et 2 de l'arrêté du 23 avril 2008, 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 (DP).

### 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<sup>2</sup>,
- de l'état des consommations et des productions raccordées au réseau.

---

<sup>1</sup>L'Offre de Raccordement = Proposition Technique et Financière ou Convention de Raccordement.

<sup>2</sup>Conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES\_67E.

### 3.3. Conditions à respecter

#### 3.3.1. Dispositions générales

Pour les ouvrages, les principes à retenir sont :

- pendant la période de fonctionnement, les ouvrages utilisés pour le raccordement doivent présenter une intensité maximale admissible en régime permanent 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 des utilisateurs 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 d'exploitation seront levées par une adaptation d'ouvrage ou une modification du point de raccordement<sup>3</sup>.

#### 3.3.2. Tenue thermique des ouvrages HTA

L'étude est réalisée en prenant en compte la période de fonctionnement envisagée selon la tenue thermique des matériels intégrant notamment les conditions de pose.

#### 3.3.3. Dispositions constructives sur les Installations

L'arrêté ministériel du 23 avril 2008 précise dans son article 10 :

*Toute Installation de Production raccordée 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 :*

*a) Lorsque la tension au Point de Livraison est égale à la tension contractuelle plus ou moins 5%, l'Installation 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  $0,35 \times P_{max}$  ;*

*b) Lorsque la tension au Point de Livraison s'écarte de la tension contractuelle comme il est dit à l'article 13, l'Installation 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'Installation 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'Installation de Production peut être initialement raccordée sans ces équipements accessoires, dès lors que l'étude mentionnée à l'article 3 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'Installation 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 d'Enedis en termes de fourniture de puissance réactive précisées dans le Contrat d'Accès au Réseau.

---

<sup>3</sup>Sont exclues les contraintes apparaissant en schéma secourant et secouru d'exploitation.

Par la suite, il est considéré que le Producteur doit pouvoir à minima augmenter ou diminuer la production ou la consommation de réactif dans les limites de l'arrêté du 23 avril 2008 (c. a. d.  $[-0,35 \times P_{\max} ; 0,4 \times P_{\max}]$ ) afin de 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 ;
- pour la 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<sup>4</sup>.

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

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

## 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 les hypothèses suivantes :

- le réseau est en schéma normal d'une part, et le réseau est en schéma secourant<sup>5</sup> d'exploitation d'autre part,
- le réseau est à consommation minimale,
- tous les producteurs sont à production maximale (y compris les producteurs dans la file d'attente, conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES\_67E).

#### 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 relatif 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  $P^*_{\max}$  :

- $R = \text{ratio} [P_{\text{min réelle sur la période de production}} / P^*_{\max}]$  du Poste Source,
- à défaut  $R=0,2$ .

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

#### 4.1.3. Données de réglage du plan de tension

L'étude est réalisée avec les hypothèses reflétant l'impact en tension des charges consommatrices à puissance minimale, des productions existantes et en file d'attente.

<sup>4</sup> Se reporter à la DTR d'Enedis : Enedis-NOI-RES\_60E.

<sup>5</sup> Conformément au § 3.3.1, la résolution des éventuelles contraintes apparaissant en schéma secourant est exclue de la solution de raccordement de référence.

La tension de consigne est la valeur de la consigne de tension du régleur en charge du transformateur source HTB/HTA. Le régleur en charge 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.

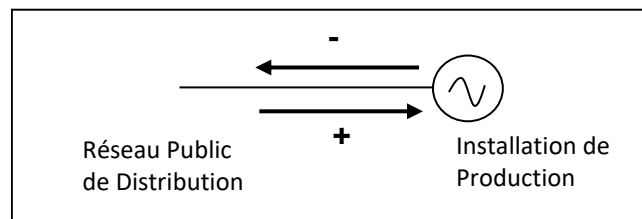
La valeur de la tension de consigne du régleur au Point de Livraison est dans la plage  $[Un + 2\% ; Un + 4\%]$ .

L'étude prend en compte une incertitude de 1% due à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régleur. La tension de consigne au Point de Livraison est optimisée en fonction du profil de tension sur la HTA et la BT et aux différents profils de charge. L'étude peut conduire à une ré-optimisation de la tension de consigne au Point de Livraison.

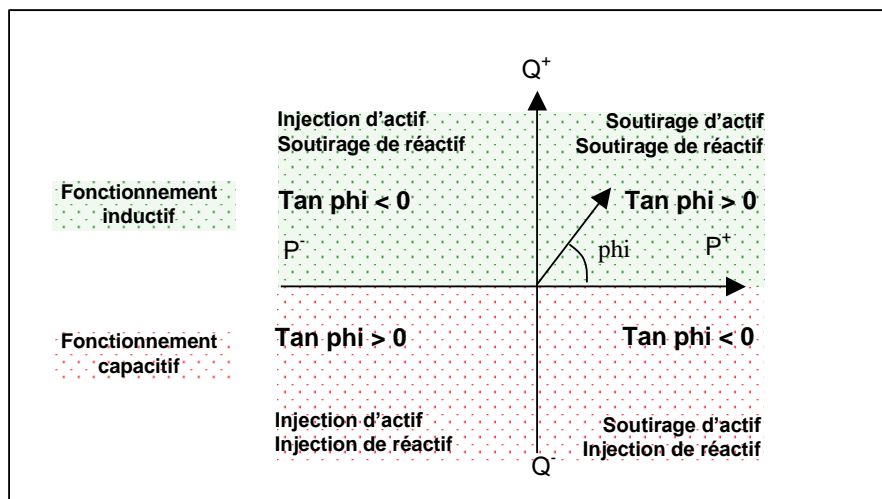
## 4.2. Hypothèses sur les producteurs

### 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 active	Puissance réactive
Injection	$P^-$	$Q^-$
Soutirage	$P^+$	$Q^+$



#### 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 tangente  $\varphi$  (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 le mode de régulation de puissance réactive n'est pas indiqué pour la période d'étude considérée, on retiendra une tangente  $\varphi=0$ .

#### 4.2.3. Producteurs en File d'Attente<sup>6</sup>

Chaque Producteur en File d'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  $\varphi$  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 Etudié

Le Producteur Etudié 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 de Distribution correspond à la puissance de raccordement en injection.

#### 4.2.5. Puissance active maximale injectée sur le réseau = Puissance de raccordement en injection (Pracc inj)

Puissance de Raccordement=puissance calculée par le Producteur à partir de la puissance nominale de fonctionnement des machines installées, déduction faite de la consommation minimale des auxiliaires ainsi que des autres besoins minimaux de consommation si ces dernières soutirent conjointement lors des périodes de production.

#### 4.2.6. Puissance réactive injectée ou soutirée sur le réseau

On appelle « tangente  $\varphi$  de production » le rapport de la puissance réactive injectée ou absorbée au Point de Livraison (PdL) sur la puissance active injectée au PdL. Une tangente  $\varphi$  contractuelle est fixée en tenant compte de la plage de régulation de cette puissance réactive (dispositions de l'arrêté du 23 avril 2008).

Le Producteur indique dans les Fiches de Collecte s'il souhaite qu'Enedis étudie en priorité un mode de régulation du type « loi de régulation locale de puissance réactive  $Q=f(U)$  » afin qu'Enedis l'étudie en priorité pour déterminer la solution de raccordement. A défaut, seul le mode de régulation tangente  $\varphi$  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  $\varphi$  fixe ou une loi de régulation locale de puissance réactive  $Q=f(U)$ .

Remarque : 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  $\varphi$  contractuelle.

---

<sup>6</sup>Conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES\_67E.

**Régulation selon une loi tangente  $\varphi$  fixe au Point de Livraison**

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

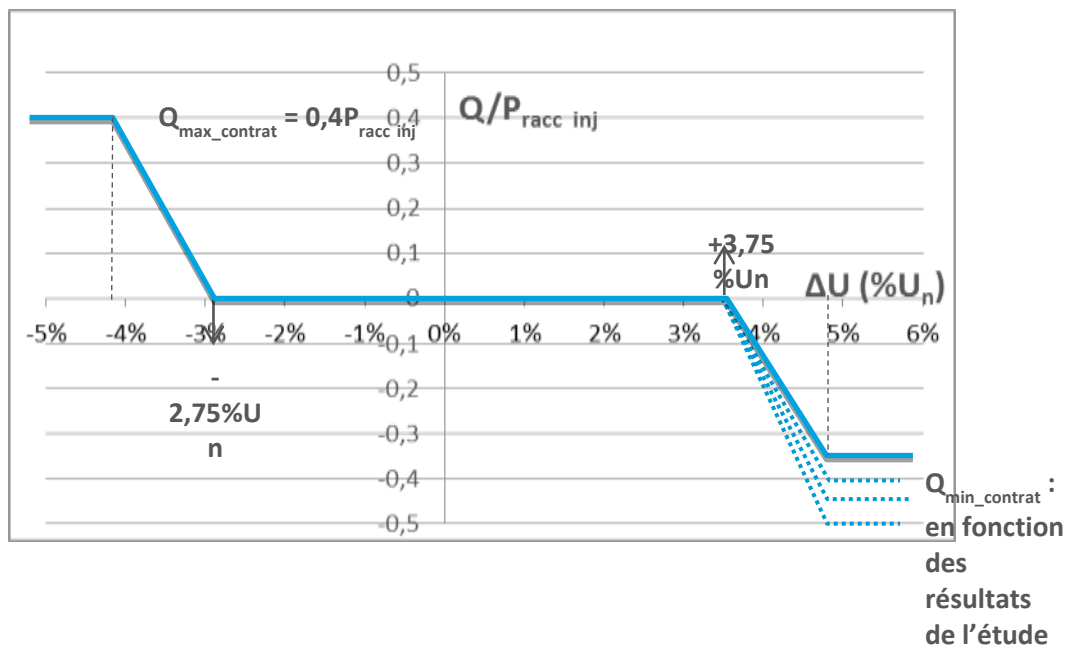
- pour un Site à raccorder sur un départ HTA existant, la production réactive minimale sera déterminée pour couvrir les besoins du départ dans les conditions minimales de charge du réseau (consommations et productions raccordées) de la période de production considérée. La tangente  $\varphi$  minimale de production sera donc égale à  $(0,4 \times P_{\text{min}} \text{ du départ} / P_{\text{max}} \text{ prod})$ , sans toutefois dépasser les capacités constructives de l'Installation de Production. Toutefois, si une autre valeur de tangente  $\varphi$  permet de lever les contraintes de plan de tension, cette valeur (dans les limites des dispositions constructives de l'arrêté du 23 avril 2008) sera retenue ;
- pour un Site à raccorder sur un départ direct au Point de Livraison, la tangente  $\varphi$  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 Enedis en fonction de la situation du réseau de raccordement.

Remarque : dans le cadre de l'étude du risque d'atteinte de la butée du régleur en charge du transformateur HTB/HTA au Point de Livraison (cf. Enedis-PRO-RES\_06E), Enedis peut être amené à diminuer la tangente  $\varphi$  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 :



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





En intégrant les capacités constructives de l'Installation fournies dans la demande du Producteur, Enedis proposera une Offre de Raccordement de Référence (ORR) minimisant les coûts d'Installation et la sollicitation en réactif ( $Q_{\min\_contrat}$ ). 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  $\varphi$  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  $\varphi$  : la tangente  $\varphi$  de calcul correspond à la borne haute de la plage de régulation : elle sera égale à la tangente  $\varphi$  de production minimale demandée à la mise en service du Site augmentée de l'incertitude  $E=0,1$  de la régulation<sup>7</sup>.

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 +/-5% Pracc inj sera appliquée pour chaque point 10 minutes mesuré.

Note 1: Que le Producteur Etudié soit un Producteur pur ou un Producteur Consommateur, la tangente  $\varphi$  (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 :

- sur un départ "mixte", partagé entre la production et la consommation, l'absence de tension haute sur le départ HTA considéré supérieure à  $U_n+5\%$  ( $U_n$ =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% de  $U_n$  ;
  - 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  $U_n$ .

La tension de consigne du régulateur peut être modifiée pour accueillir la puissance du Producteur Demandeur, dans les limites de la plage [ $U_n + 2\%$  ;  $U_n + 4\%$ ].

Ces dispositions permettent de garantir l'accueil sur le Réseau Public 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 253 volts,  $U_n + 10\%$ <sup>8</sup> ( $U_n$ =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.

<sup>7</sup> La plage de régulation de la tangente  $\varphi$  ne peut être que d'un seul signe (située dans un seul quadrant).

<sup>8</sup> Ou engagement plus contraignant figurant au contrat de concession conformément à l'article 21 du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007.

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  $\varphi$  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'Enedis 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 : Enedis 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  $-0,35 \times P_{\text{Praccinj}}$ . 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  $-0,5 \times P_{\text{Praccinj}}$ . Une loi de régulation en tangente  $\varphi$  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  $\varphi$  fixe :]

- en réduisant le niveau de réactif fourni par l'Installation de Production, voir à demander un soutirage de réactif en période de faible charge. L'étude sera effectuée en retenant des valeurs de tangente  $\varphi$  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  $\varphi$ , voir 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  $\varphi$  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  $[U_n + 2\% ; U_n + 4\%]$  ;
- 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 Point de Livraison 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 (Cf Annexe A).

Si une contrainte de transit HTA est détectée, on cherche à la lever par adaptation du raccordement du producteur au minimum technique dans le respect de la section économique : adaptation du départ existant, création d'un départ direct au Point de Livraison.

#### 4.6. Détermination de la plage de fonctionnement en réactif

##### Nota 1

Dans le cas d'une régulation en tangente  $\varphi$ , 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 Enedis en fonction de la situation du réseau de raccordement ;
- si le raccordement se fait sur un départ existant : la plage de fourniture de réactif est fixée à  $[0,4 \times P_{\min}$  du départ ;  $0,4 \times P_{\min}$  du départ +  $0,1 \times P_{\max}$  prod].

Dans le cadre d'un raccordement sur un départ existant, si une valeur de tangente  $\varphi$  du Producteur (inférieure à  $0,4 \times P_{\min}$  du départ /  $P_{\max}$  prod) permet de lever les contraintes de plan de tension, cette valeur (dans les limites des dispositions constructives prévues par la réglementation) sera retenue. La plage de réactif sera alors fixée de manière à ce que la tangente soit comprise dans la plage  $[(\text{tangente } \varphi), (\text{tangente } \varphi) + 0,1]$  avec (tangente  $\varphi + 0,1$ ) comme valeur prise en compte dans l'étude.

##### Nota 2

Il est à noter que la tangente  $\varphi$  contractuelle correspond à la borne basse de la plage de réactif et que la tangente  $\varphi$  d'étude correspond à la borne haute de la plage de réactif.

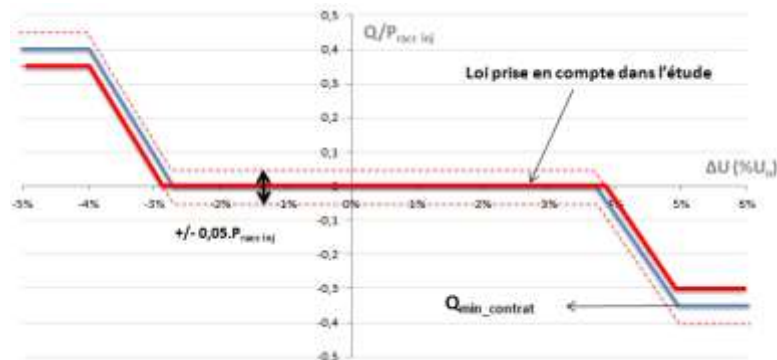
Dans tous les cas, la puissance maximale active injectée et soutirée sur le réseau éventuellement limitée à une période de l'année et la plage de réglage de la puissance réactive correspondante issue de l'étude de raccordement devront être mentionnées dans le contrat d'injection et les Convention de Raccordement et d'Exploitation.

Les valeurs des consignes et les conditions de fourniture de puissance réactive sont indiquées dans le contrat d'accès au Réseau Public de Distribution en injection (CARD-I) 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 ( $\pm 5\% \cdot P_{\text{racc inj}}$ ).

La loi de régulation prise en compte dans l'étude sera donc :  $Q=f(U)_{\text{contrat}} + 0,05 \times P_{\text{racc inj}}$  (cf. schéma ci-dessous).



## 5. Annexe A - Choix de la section de l'antenne 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 :

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

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 +  $\alpha(S)$  coût de fourniture du câble, formé d'un coût fixe et d'un coût dépendant de 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 :

$$d = 3 L \cdot (\rho / S) \cdot I^2 h W \cdot 10^{-3}$$

L longueur de liaison (km)

( $\rho/S$ ) résistance linéique d'un conducteur de phase à la température de fonctionnement ( $\Omega/\text{km}$ ),

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

h nombre d'heures de service de la liaison dans l'année, une année complète = 8760 heures,

W coût du kWh d'énergie électrique ( $\text{€}/\text{kWh}$ ).

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 :

$$D = d \cdot [ 1/(1+t) + 1/(1+t)^2 + \dots + 1/(1+t)^N ] = d [ [(1+t)^N - 1] / (t (1+t)^N) ] = d \cdot A$$

t taux annuel d'actualisation

N durée d'amortissement de la liaison,

Le terme  $A = [(1+t)^N - 1] / (t (1+t)^N)$  est donné par les tables financières.

Le coût de revient total d'une liaison peut donc s'exprimer sous la forme :

$$E + D = [ g + c + \alpha(S) ] L + A \cdot 3 L (\rho/S) I^2 h W \cdot 10^{-3}$$

Ce coût total présente un coût minimum. En supposant, que  $\alpha(S)$  est linéaire  $\alpha(S) = \alpha \cdot S$  (ce qui n'est pas exactement vérifié dans la réalité), le coût minimum est atteint pour la section  $S = I \sqrt{10^{-3} (3 \rho h W A / \alpha)}$ . Dans cette approximation, on remarque que l'expression de la section économique est :

- indépendante de la longueur de la liaison,
- proportionnelle à l'intensité transitée I,
- croissante avec le coût de l'énergie W, la durée annuelle d'utilisation h et, par le coefficient d'actualisation A, avec la durée d'amortissement,
- décroissante avec le coût proportionnel à la section des câbles considérés  $\alpha$  et le taux d'actualisation t.

### 5.3. Application au cas du Réseau Public de Distribution

Le principe de recherche de la section économique appliqué au Réseau Public 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 8% et une durée d'amortissement de 30 ans, correspondant à une valeur de 11,25 pour le terme d'actualisation (A) des dépenses d'exploitation,
- un coût de l'énergie égal au coût d'acquisition des pertes compensées par Enedis.

Les données techniques particulières aux liaisons sont :

- les sections préférentielles et la nature des conducteurs disponibles dans la gamme des câbles retenue par Enedis,
- les surcoûts d'établissement liés au passage d'une section à la section supérieure dans la gamme de câble retenue par Enedis,
- 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 tangente  $\phi$  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 Enedis, les informations relatives au choix de la section économique des Réseaux Publics 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 création de liaisons électriques communes au raccordement de plusieurs utilisateurs. Dans ce cas, la liaison à réaliser s'inscrit dans la structure du Réseau Public 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 contrainte de tension et de tenue thermique,
- section économique déterminée pour les besoins du Demandeur,

- section de l'ossature du départ HTA au point de raccordement, si celui-ci 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 contrainte 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 mm<sup>2</sup> Al

Dans le cas où même une solution avec un câble en 240Cu 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 mm<sup>2</sup> Al (voir Figure 3) 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 mm<sup>2</sup> 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.

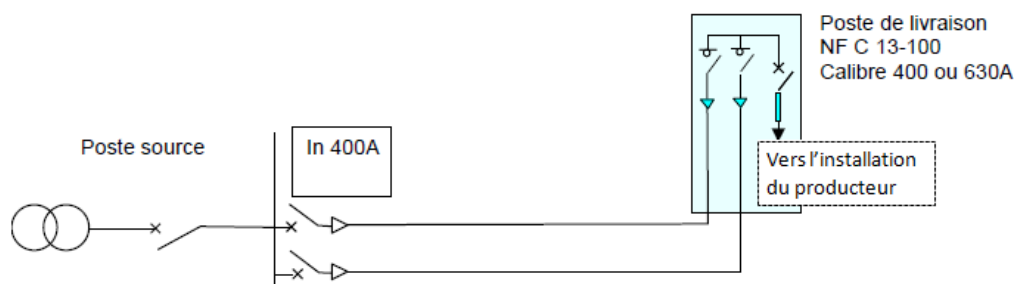


Figure 3 : schéma de Raccordement des Sites de puissance de raccordement en 2 x 240 mm<sup>2</sup> Al

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. Cas du câble 400 mm<sup>2</sup>Alu

Enedis a introduit un câble HTA de 400 mm<sup>2</sup>Alu dans les Tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA (§ 6).

L'utilisation de ce type de câble, pour le raccordement des sites de production, ne sera possible qu'à l'issue du processus de qualification du câble et de l'ensemble des matériels associés. Un déploiement à l'horizon 2021 est envisagé.

Enedis communiquera avant fin 2019 les modalités d'application des nouvelles règles de choix en particulier la date à partir de laquelle elles s'appliqueront à tous les projets ayant fait l'objet d'une demande de raccordement.

### 5.8. Tables 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.

L'ensemble des paramètres économiques et techniques permettant la définition des abaques ont été linéarisés en fonction de la longueur. Il en résulte que Les abaques ainsi présentés sont indépendants de la longueur du câble.

Le choix de la section à poser est établi a priori en fonction des tables de choix mises à jour annuellement. Les tables de choix sont établies 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.

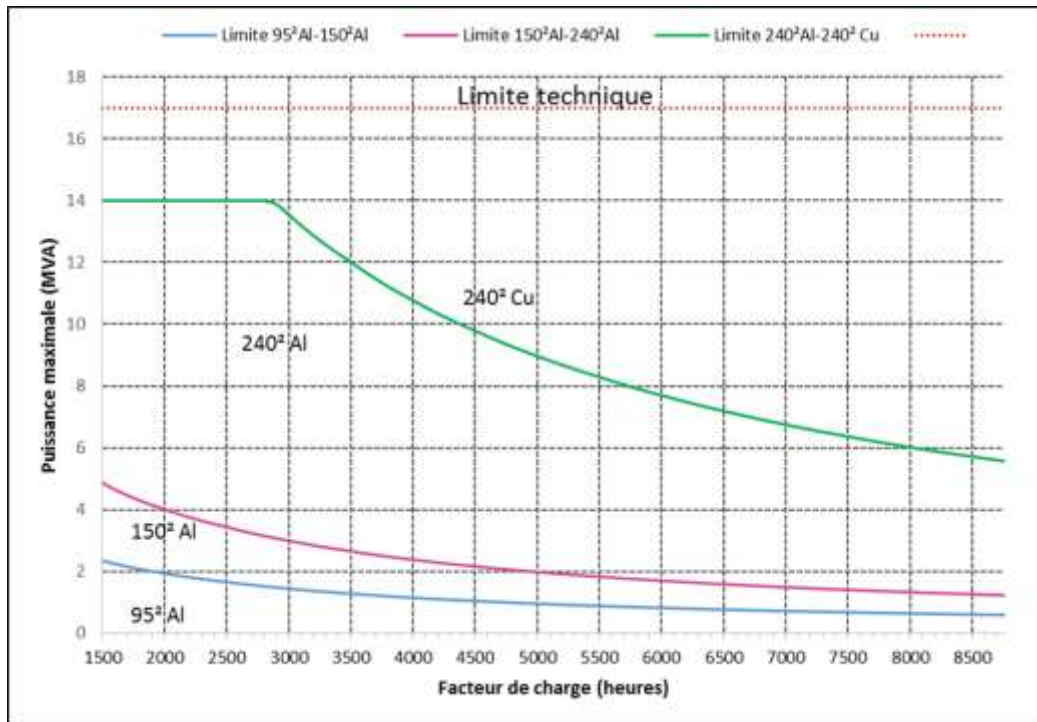
Les abaques de sections économiques permettent d'identifier la solution la plus pertinente économiquement. Cette sélection doit être complétée par une étude électrique (qui permet de vérifier que la solution répond aux contraintes d'intensité et de tension) qui permettra de valider le choix du câble.



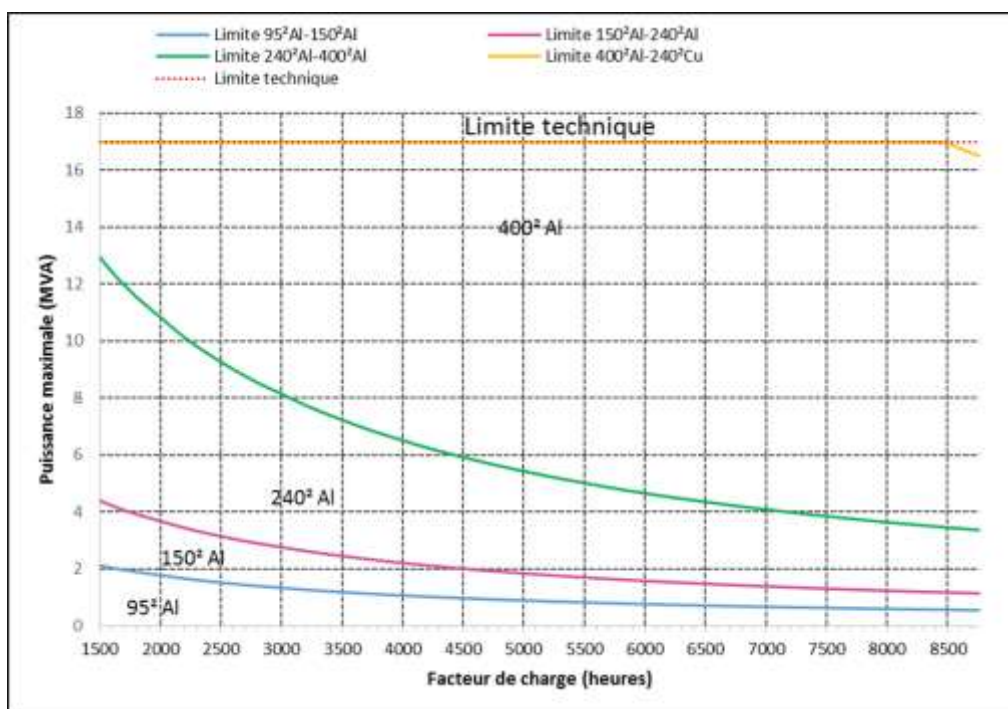
## 6. Tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA

Ces tables pratiques de choix sont mises à jour annuellement.

### Section économique des câbles 20 kV

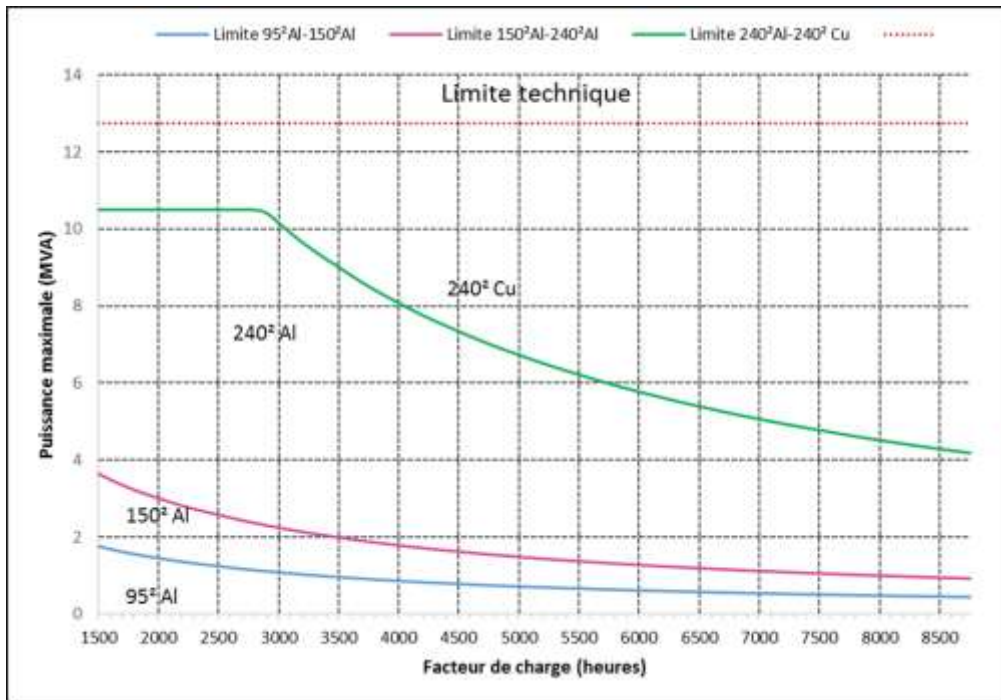


A l'horizon 2021, introduction du 400 mm² Al





Section économique des câbles 15 kV



A l'horizon 2021, introduction du 400 mm<sup>2</sup> Al

