

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 :	13
Nb. de pages :	17

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
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	
12	13/02/2023	Prise en compte des capacités constructives des producteurs en départ direct (Tanphi = - 0,35) et du foisonnement des productions éolienne et solaire	
13	01/07/2023	Introduction définitive de la section de câbles 400mm ² alu : suppression des abaques de sections économiques sans cette section.	

Document(s) associé(s) et annexe(s) :

Enedis-PRO-RES_06E : « Etude de l'impact sur la tenue thermique, la tension et le comptage dans les Postes Sources pour le raccordement d'une production décentralisée 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

1 —	Objet 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
3.3.1.	Dispositions générales	3
3.3.2.	Tenue thermique des ouvrages HTA	4
3.3.3.	Dispositions constructives sur les Installations	4
4 —	Détermination de la solution de raccordement	4
4.1.	Hypothèses sur le réseau	4
4.1.1.	Conducteurs HTA	4
4.1.2.	Consommations	5
4.1.3.	Données de réglage du plan de tension	5
4.2.	Hypothèses sur les producteurs	5
4.2.1.	Convention utilisée	5
4.2.2.	Situations dimensionnantes	6
4.2.3.	Producteurs Existants	6
4.2.4.	Producteurs en File d'Attente	7
4.2.5.	Producteur Etudié	7
4.2.6.	Puissance active maximale injectée sur le réseau = Puissance de raccordement en injection (Pracc inj)	7
4.2.7.	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
4.7.	Traitement des demandes de raccordement dérogatoires pour des puissances installées supérieures à 12 MW	12
5 —	Annexe A - Choix de la section de l'antenne de raccordement	13
5.1.	Introduction	13
5.2.	Principe de choix d'une section économique	13
5.3.	Application au cas du Réseau Public de Distribution	14
5.4.	Liaisons communes à plusieurs utilisateurs	15
5.5.	Cas des liaisons directes	15
5.6.	Cas des liaisons directes en 2 x 240 mm ² Al	15
5.7.	Tables de choix des sections économiques	16
6 —	Tables pratiques pour le choix de la section économique des câbles HTA	17

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

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 ϕ 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 Raccordement¹ antérieurement au 9 juin 2020. Elles s'appliquent également aux Installations de Production existantes subissant une modification substantielle, laquelle est définie dans l'arrêté du 9 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 (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'attente²,
- de l'état des consommations et des productions raccordées au réseau.

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 raccordement³.

¹ L'Offre de Raccordement = Proposition Technique et Financière ou Convention de Raccordement.

² Conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES_67E.

³ Sont exclues les contraintes apparaissant en schéma secourant et secouru d'exploitation.

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

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

Les dispositions constructives prévues à l'arrêté du 9 juin 2020 sont applicables pendant la durée d'exécution de la Convention de Raccordement. Toutefois, le producteur peut satisfaire, pour la mise en service du Site, aux dispositions constructives minimales compatibles aux besoins du RPD et/ou RPT en termes de fourniture de puissance réactive précisées dans le Contrat d'Accès au Réseau.

Par la suite, il est considéré que le Producteur doit pouvoir a minima augmenter ou diminuer la production ou la consommation de réactif dans les limites de l'arrêté du 9 juin 2020 (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-dessus⁴.

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

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

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 secourant⁵ 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 Se reporter à la DTR d'Enedis : Enedis-NOI-RES_60E.

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

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

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 = ratio [Pmin réelle sur la période de production/P*max] du Poste Source,
- à défaut R = 0,2.

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

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.

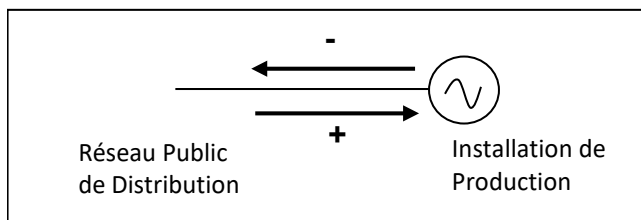
La valeur de la tension de consigne du régleur au Point de Livraison est dans la plage $[Un + 2 \% ; Un + 4 \%]$.

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.

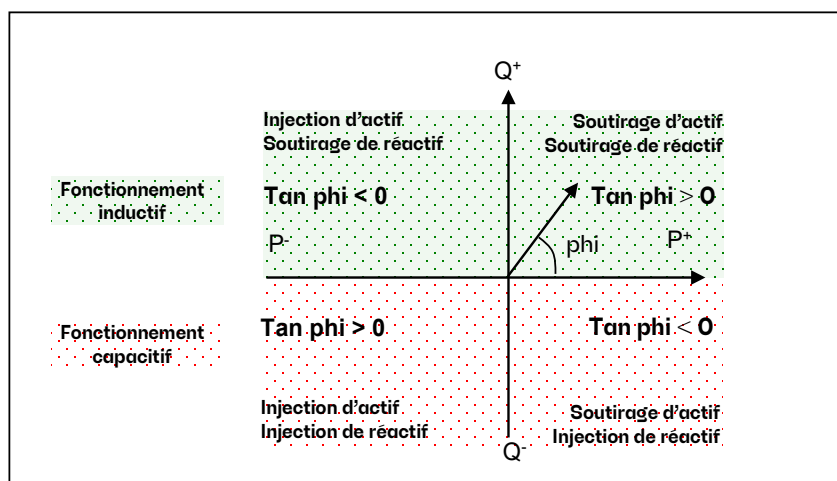
4.2. Hypothèses sur les producteurs

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^+



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

4.2.2. Situations dimensionnantes

Pour refléter le foisonnement naturel des productions solaires et éoliennes, deux scénarios seront étudiés :

- tous les producteurs sont à production maximale, sauf les producteurs photovoltaïques, qui seront à 80 % de leur production maximale ;
- tous les producteurs sont à production maximale, sauf les producteurs éoliens, qui seront à 80 % de leur production maximale.

Cela comprend aussi les producteurs dans la file d'attente, conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES_67E. Les coefficients 80 % seront aussi appliqués à la production BT de la filière correspondante.

Par ailleurs, en fonction de la situation sur le réseau de raccordement et le RPT, les producteurs en départ direct pourront avoir une tangente φ contractuelle saisonnière. Le raccordement de ces producteurs sera donc fait de manière à ce que cela soit techniquement possible. Les producteurs en départ direct seront donc étudiés dans deux situations, correspondant aux limites minimale et maximale de tangente φ définies par les capacités constructives : tangente $\varphi = 0$ d'une part, et tangente $\varphi = -0,35$ d'autre part.

Au final, les situations dimensionnantes étudiées seront donc les 4 scénarios suivants :

- un scénario où les producteurs photovoltaïques sont à 80 % de leur production maximale, et tous les producteurs en départ direct sont à tangente $\varphi = 0$;
- un scénario où les producteurs photovoltaïques sont à 80 % de leur production maximale, et tous les producteurs en départ direct sont à tangente $\varphi = -0,35$;
- un scénario où les producteurs éoliens sont à 80 % de leur production maximale, et tous les producteurs en départ direct sont à tangente $\varphi = 0$;
- un scénario où les producteurs éoliens sont à 80 % de leur production maximale, et tous les producteurs en départ direct sont à tangente $\varphi = -0,35$.

Pour chaque type de contrainte défini en parties 4.3, 4.4 et 4.5, on retiendra, pour chaque ouvrage et point du réseau, la situation la plus contraignante entre les quatre scénarios.

4.2.3. Producteurs Existants

Chaque Producteur Existant sur un départ « mixte » partagé entre la production et la consommation est pris en compte de la façon suivante :

- la puissance active maximale injectée pendant la période étudiée, ou 80 % de celle-ci en fonction du scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2 ;
- la valeur de tangente φ (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 $\varphi = 0$.

Chaque Producteur Existant, sur un départ « direct », est pris en compte de la façon suivante :

- la puissance active maximale injectée pendant la période étudiée, ou 80 % de celle-ci en fonction du scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2 ;
- la valeur de tangente φ correspondant au scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2.

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

4.2.4. Producteurs en File d'Attente⁶

Chaque Producteur en File d'Attente sur un départ « mixte » partagé entre la production et la consommation est pris en compte de la façon suivante :

- la puissance active maximale qu'il est en mesure d'injecter pendant la période étudiée (Puissance de raccordement en injection $P_{\text{racc inj}}$), ou 80 % de celle-ci en fonction du scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2 ;
- la loi de régulation issue de l'étude (valeur de la tangente φ de fonctionnement ou loi de régulation locale de puissance réactive $Q = f(U)$).

Chaque Producteur en file d'attente, sur un départ « direct », est pris en compte de la façon suivante :

- la puissance active maximale qu'il est en mesure d'injecter pendant la période étudiée (Puissance de raccordement en injection $P_{\text{racc inj}}$), ou 80 % de celle-ci en fonction du scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2 ;
- la valeur de tangente φ correspondant au scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2.

4.2.5. 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, ou 80 % de celle-ci en fonction du scénario étudié, tel que décrit en 4.2.2. Cette puissance de production maximale nette livrée au Réseau Public de Distribution correspond à la puissance de raccordement en injection ;
- la puissance réactive du Producteur Etudié est prise en compte comme indiqué en 4.2.7.

4.2.6. Puissance active maximale injectée sur le réseau = Puissance de raccordement en injection ($P_{\text{racc inj}}$)

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.

4.2.7. Puissance réactive injectée ou soutirée sur le réseau

On appelle « tangente φ 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 φ contractuelle est fixée en tenant compte de la plage de régulation de cette puissance réactive (dispositions de l'arrêté du 9 juin 2020).

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 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 $Q = f(U)$.

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 mixte. Pour un raccordement par départ direct au Point de Livraison, le mode de régulation sera obligatoirement une tangente φ contractuelle.

⁶ Conformément aux dispositions définies dans la note Enedis-PRO-RES_67E.

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

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 sur un départ HTA mixte, 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 φ minimale de production sera donc égale à $(0,4 \times P_{\min} \text{ du départ} / P_{\max} \text{ prod})$, sans toutefois dépasser les capacités constructives de l'Installation de Production. 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 9 juin 2020) sera retenue ;
- pour un Site à raccorder sur un départ direct au Point de Livraison : les éventuelles contraintes d'intensité et de tension doivent être étudiées avec les hypothèses suivantes, tel que décrit en 4.2.2 :
 - une tangente φ égale à 0, et
 - une tangente φ égale à -0,35.

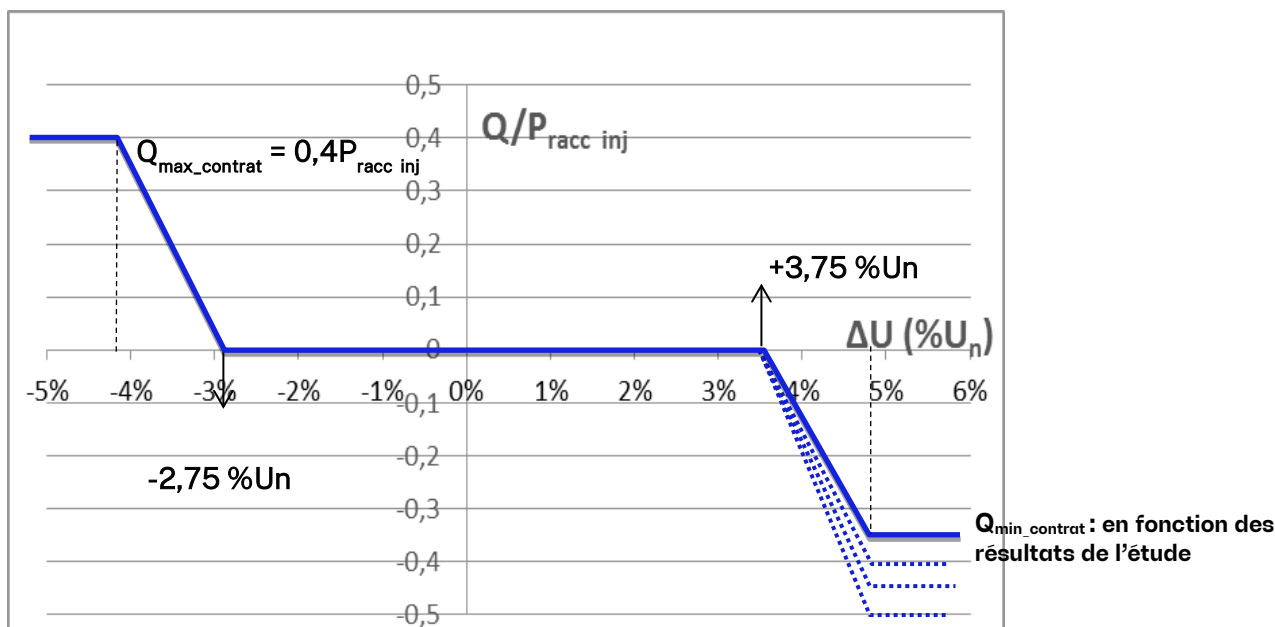
La tangente φ contractuelle pourra être saisonnière et sera déterminée par Enedis en fonction de la situation du réseau de raccordement et de la situation du réseau RPT.

Remarque : 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 (cf. Enedis-PRO-RES_06E), et/ou en cas de contraintes de tensions hautes sur le réseau RPT, Enedis 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 :



Loi de régulation locale $Q = f(U)$

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

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

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 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.

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. Pour déterminer cette section, la puissance apparente maximale susceptible de transiter dans l'antenne de raccordement sera utilisée.

Pour les producteurs en départ direct, on prendra donc en compte la puissance apparente résultant d'une tangente ϕ égale à $-0,35$.

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 $253\text{ volts}, U_n + 10\%$ ⁷ (U_n = tension nominale telle que décrite dans l'arrêté du 24 décembre 2007) pour la basse tension BT, $230/400\text{ volts}$, 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.

⁷ Ou engagement plus contraignant figurant au contrat de concession conformément à l'article 21 du décret n°2007-1826 du 24 décembre 2007.

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

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'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 $-0,35 \times Pracc_{inj}$. 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 $-0,5 \times Pracc_{inj}$. 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 $[U_n + 2\% ; U_n + 4\%]$;
- 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.

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

4.6. Détermination de la plage de fonctionnement en réactif

Nota 1

Dans le cas d'une régulation en tangente φ , la fourniture (ou le soutirage) de réactif ne peut être fixé(e) 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 $E = 0,1$ sera en absorption de réactif et sera déterminé par Enedis en fonction de la situation du réseau de raccordement et du RPT ;
- si le raccordement se fait sur un départ mixte : 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 φ 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 $(\text{tangente } \varphi + 0,1)$ comme valeur prise en compte dans l'étude.

Nota 2

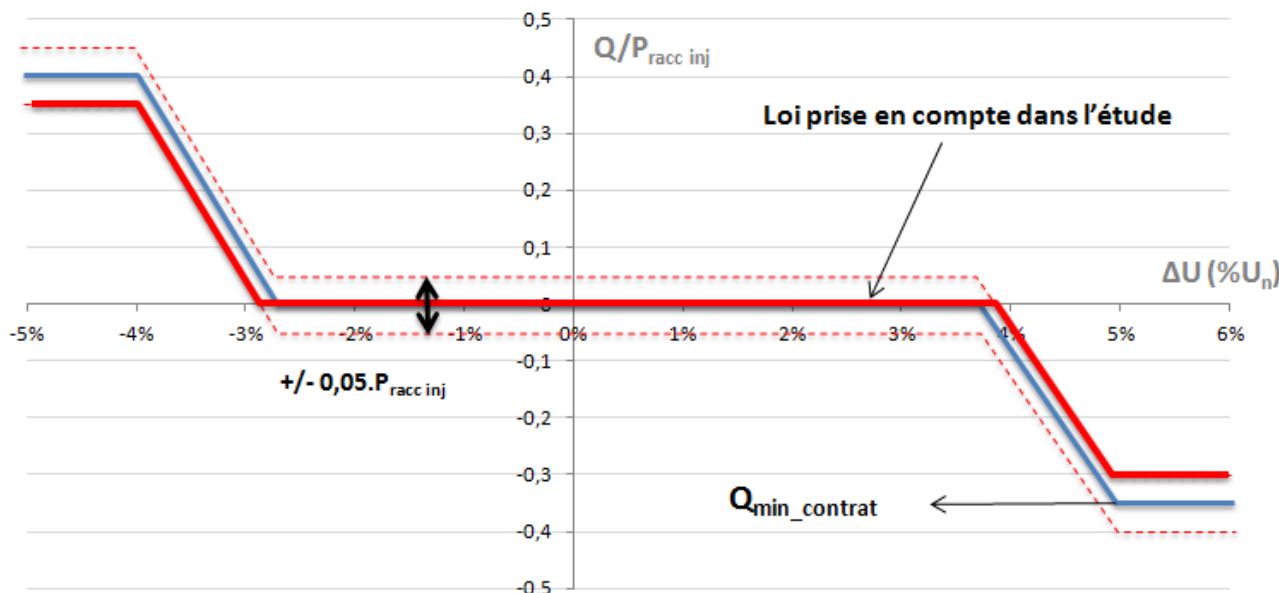
La puissance maximale active injectée et soutirée sur le réseau, éventuellement limitée à une période de l'année et la plage de réglage de la puissance réactive correspondante issue de l'étude de raccordement devront être mentionnées dans le contrat d'injection et les Convention de Raccordement et d'Exploitation.

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 ($\pm 5 \% P_{\text{racc inj}}$).

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).



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

4.7. Traitement des demandes de raccordement dérogatoires pour des puissances installées supérieures à 12 MW

L'article 24 de l'arrêté du 9 juin 2020 prévoit qu'à toute demande de raccordement en HTA avec une puissance installée supérieure à 12 MW, Enedis « n'est tenu d'y donner une suite favorable que dans le cas où, au vu des résultats de l'étude mentionnée à l'article 23, le raccordement s'avère possible sur un départ direct depuis le Poste Source au regard des prescriptions du présent arrêté ». En outre, l'article 23 dispose que « l'étude identifie les éventuelles contraintes que le raccordement de l'installation de production est susceptible de faire peser, notamment sur :

- - l'intensité maximale admissible dans les ouvrages du réseau public de distribution d'électricité ; [...]

Cette solution peut comporter des modalités techniques de raccordement et des adaptations techniques du réseau public de distribution d'électricité et du réseau public de transport d'électricité à effectuer préalablement à ce raccordement. Elle peut également être subordonnée à des adaptations techniques de l'installation de production à raccorder et à des conditions à respecter pour son exploitation. »

Conformément à ce qui précède, la présente étude tiendra compte de la limite technique des câbles HTA de 17 MVA (pour un raccordement en 20 kV) ou de 12,75 MVA (pour un raccordement en 15 KV).

Pour une puissance installée supérieure à 12 MW, si cette limite technique est dépassée dans l'hypothèse d'étude correspondant à tangente $\varphi = -0.35$ mentionnée au 4.2.7, la solution de raccordement de référence qui sera proposée au Producteur sera constituée d'une liaison en départ direct et s'accompagnera d'une condition de bridage de l'installation pendant la période de soutirage d'énergie réactive.

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 :

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

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 :

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

L longueur de liaison (km),

(ρ/S) résistance linéique d'un conducteur de phase à la température de fonctionnement (Ω/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 (€/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.

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

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 :

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

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 α 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 correspondant à la valeur en vigueur pour la planification à Enedis, et une durée d'amortissement de 30 ans,
- un coût de l'énergie égal au coût d'acquisition sur le long terme 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 φ maximale en valeur absolue 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.

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

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 apparentes 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 Al

Dans le cas où même une solution avec un câble en 400 mm² Al ou 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 le respect de la réglementation en vigueur sur la valeur de puissance installée (Art 24 de l'arrêté du 9 juin 2020).

Le raccordement du Site est alors réalisé au moyen de 2 liaisons similaires en câble 240 mm² Al (voir Figure 1) 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.

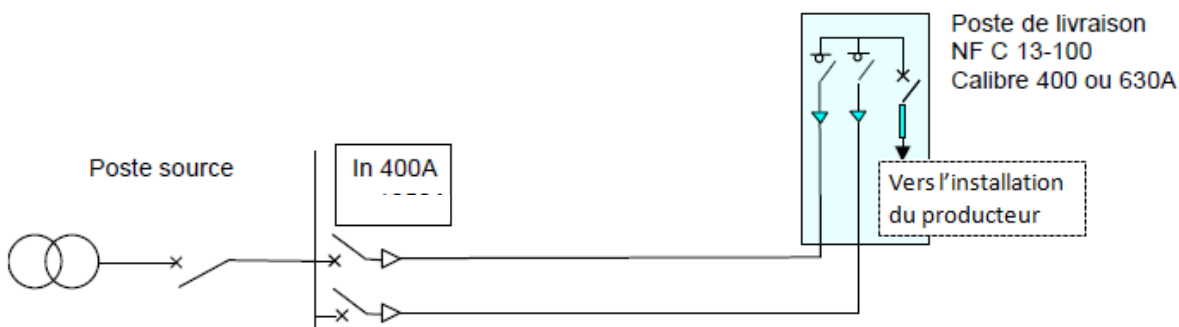


Figure 1 : schéma de Raccordement des Sites de puissance de raccordement en 2 x 240 mm² Al

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

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. 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.

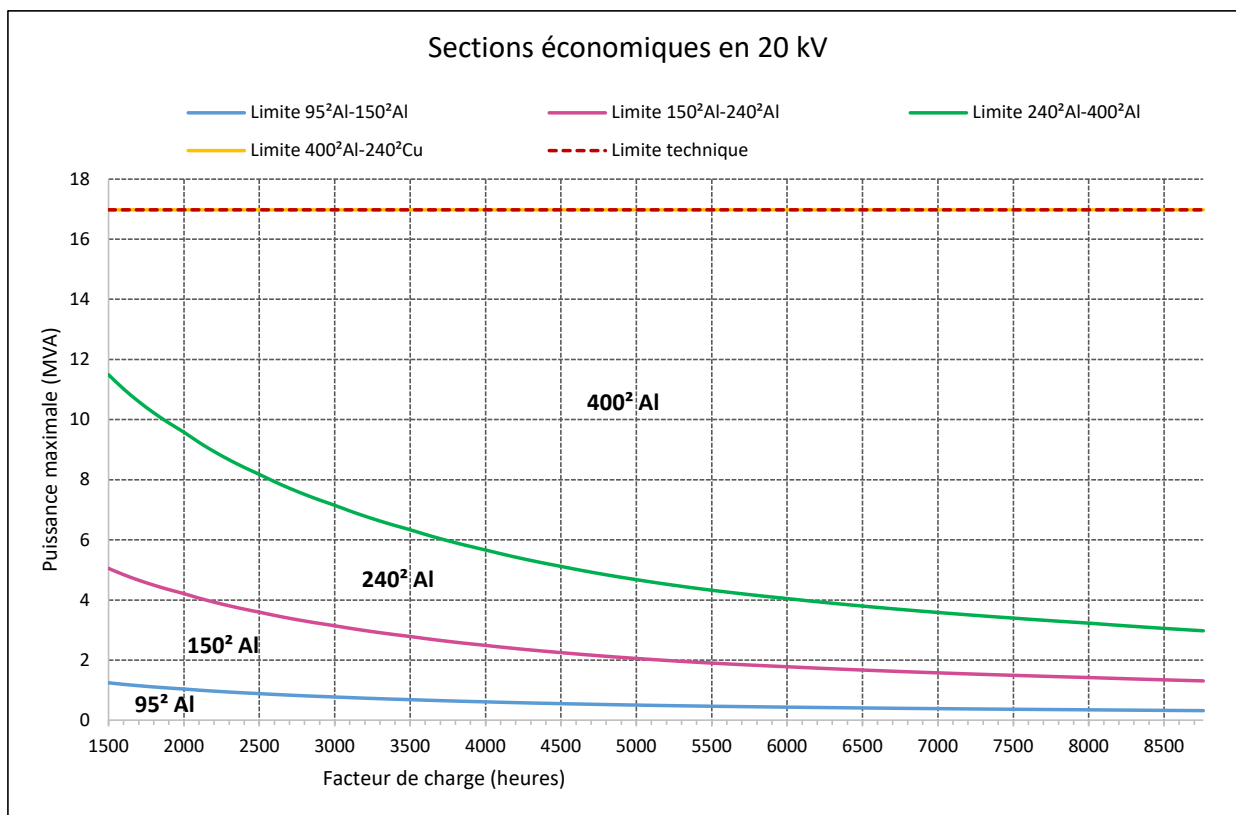
Le choix de la section à poser est établi a priori en fonction des tables de choix mises à jour annuellement. Les tables de choix sont établies en fonction des coûts moyens des pertes et de fourniture des différents câbles. Le Demandeur d'un raccordement peut sur sa demande, connaître la puissance maximale 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



Section économique des câbles 15 kV

