

Principes d'étude et de développement du réseau pour le raccordement des clients consommateurs et producteurs BT

Résumé / Avertissement

L'objet de ce document est de définir les principes d'étude et de développement du réseau dans le cadre du raccordement de clients consommateurs et producteurs BT.

Historique du document : D-R1-RTA-14

Nature de la modification	Indice	Date de publication
Création (annule et remplace D-GR1-RTA-14)	A	02/07/2018
Nouveaux critères de choix des transformateurs HTA/BT et réglages des prises transformateurs	B	26/07/2018
Modification sur les conditions de branchement en sortie de poste	C	20/11/2018

Sommaire

1	Objet de la note	4
2	Contexte	4
3	Environnement réglementaire et contractuel.....	4
3.1	Textes réglementaires concernant la réalisation des réseaux BT	4
3.2	Textes réglementaires concernant le raccordement des utilisateurs	5
3.3	Tenue de la tension	5
4	Structure des réseaux.....	5
4.1	Généralités.....	5
4.2	Postes et transformateurs HTA/BT.....	6
4.2.1	Généralités.....	6
4.2.2	Insertion dans la structure HTA	6
4.3	Départs BT	8
4.3.1	Généralités.....	8
4.3.2	Particularité des réseaux souterrains	9
5	Principes généraux concernant le développement des réseaux.....	11
5.1	Seuils de contrainte électrique.....	11
5.1.1	Principe des seuils de contrainte.....	11
5.1.2	Contrainte d'intensité.....	11
5.1.3	Contraintes de tension	11
5.1.4	Contrainte de gradient	13
5.2	Dimensionnement des ouvrages	14
5.2.1	Le dimensionnement économique.....	14
5.2.2	Transformateurs HTA/BT.....	15
5.2.3	Départs BT	16
6	Raccordement de nouveaux utilisateurs	16
6.1	Notion de raccordement de référence.....	16
6.1.1	Définition	16
6.1.2	Enjeu	17
6.2	Détermination du raccordement de référence.....	17
6.2.1	Tracé et section du réseau créé.....	17
6.2.2	Etude de raccordement d'un site consommateur sans production	17
6.2.3	Etude de raccordement d'un site producteur	18
6.2.4	Solutions possibles pour lever une contrainte	18

6.2.5	Solution retenue	19
6.3	Raccordement d'un ou deux utilisateurs individuels ≤ 36 kVA	19
6.3.1	Puissance de raccordement	19
6.3.2	Sections économiques	19
6.4	Raccordement d'un utilisateur individuel > 36 kVA	19
6.4.1	Puissance de raccordement	19
6.4.2	Sections économiques	19
6.5	Raccordement d'un immeuble (≥ 3 utilisateurs)	20
6.5.1	Puissance de raccordement	20
6.5.2	Sections économiques	20
6.5.3	Immeuble raccordé au poste HTA/BT	20
6.6	Raccordement d'un collectif horizontal (≥ 3 utilisateurs)	20
6.6.1	Puissance de raccordement	20
6.6.2	Sections économiques	21
6.6.3	Dimensionnement du réseau BT à l'intérieur du lotissement	21
6.6.4	Lotissement raccordé au poste HTA/BT	21

1 Objet de la note

Les décisions d'investissements sur le réseau sont initiées par des causes diverses :

- raccordement de nouveaux utilisateurs, impliquant une extension et, dans certains cas, une adaptation du réseau ;
- déplacement de réseau existant à la demande de tiers ;
- adaptation de réseau pour faire face à l'accroissement de la demande des utilisateurs existants ;
- remplacement d'éléments de réseau justifié par un nombre d'incidents supérieur à la moyenne ;
- remplacement d'éléments de réseau justifié par la mise en souterrain du réseau HTA ;
- programme d'aménagements paysagés du SIÉDS.

La nécessaire cohérence entre toutes les natures de développement du réseau, ainsi que le besoin d'objectivité et de non-discrimination, nécessite d'appliquer des principes décisionnels communs à tous les dossiers d'investissement dans le réseau public de distribution.

L'objet de cette note est de décrire les principes et méthodes décisionnelles de développement du réseau BT.

2 Contexte

En tant que concessionnaire GÉRÉDIS DEUX-SEVRES a pour mission la maîtrise des problèmes de qualité de desserte perçue par les utilisateurs dans le respect de l'ensemble des obligations réglementaires, contractuelles et le respect l'environnement. Compte tenu de la durée de vie très longue des ouvrages, les décisions prises ont un impact durable. Le souci de GÉRÉDIS DEUX-SEVRES est donc en priorité de minimiser sur la durée le coût global de cette gestion. Ce coût global inclut l'investissement lui-même, le coût des pertes électriques (Fer, Joule), les dépenses d'exploitation (entretien, maintenance), et la valorisation de la défaillance subie par les utilisateurs lors d'indisponibilités du réseau.

Outre un souci de l'économie du système, les principaux éléments qui guident les décisions de GEREDIS DEUX-SEVRES sont:

- la sécurité des personnes et des biens ;
- le fonctionnement durable du réseau dans des conditions techniques acceptables (comme par exemple la suppression des contraintes d'intensité) ;
- le besoin de satisfaire les demandes de raccordements des utilisateurs dans les conditions techniques et financières fixées par les textes en vigueur ;
- le respect de ces obligations réglementaires et contractuelles, notamment en ce qui concerne les fluctuations de la tension et la qualité de la fourniture ;
- le respect de l'environnement ;
- la capacité à réalimenter au mieux les utilisateurs en cas d'indisponibilité d'un ouvrage de réseau

3 Environnement réglementaire et contractuel

3.1 Textes réglementaires concernant la réalisation des réseaux BT

La réalisation des réseaux BT est soumise à l'application de textes réglementaires

- l'Arrêté du 17 mai 2001 dit « Arrêté Technique » (NF C 11-001) ;
- l'Arrêté du 18 février 2012 modifiant l'arrêté 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 ;
- les normes NF, UTE et règles de l'art, dont les principales : NF C 11-201 et NF C 14-100 ;
- le contrat de concession

3.2 Textes réglementaires concernant le raccordement des utilisateurs

La réglementation des raccordements a fortement évolué et est soumise à l'application des textes réglementaires suivants :

- Le code de l'énergie notamment les articles L341-1 et suivants
- Décret 2007-1280 du 28 août 2007 relatif à la consistance des ouvrages de branchement et d'extension des raccordements aux réseaux publics d'électricité ; articles D342-1 et D342-2 du code de l'énergie
- Décret 2003-229 du 13 mars 2003 (abrogé), et arrêté du 13 mars 2003 et modificatif du 6 octobre 2006 ;
- Arrêté du 28 août 2007 fixant les principes de calcul de la contribution ;
- Arrêté « Réfaction » du 17 juillet 2008, publié au Journal Officiel le 20 novembre 2008, fixant les taux de réfaction mentionnés dans l'arrêté du 28 août 2007 ;
- Décret 2008-386 du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installations de production aux réseaux publics d'électricité ; articles D342-5 et suivants
- Arrêté du 23 avril 2008 relatif au raccordement des installations de production au réseau public de distribution.

3.3 Tenue de la tension

La tension normale de distribution BT est régie par l'arrêté interministériel du 24 décembre 2007. Celui-ci fixe à 230 / 400 V le niveau de la tension nominale. Il définit des valeurs minimales et maximales admissibles au point de livraison d'un utilisateur (**valeurs moyennées sur 10 mn**), correspondant à une plage de [-10%, +10%] autour des valeurs nominales :

	Tension minimale	Tension maximale
En monophasé	207 V	253 V
En triphasé	360 V	440 V

Il définit également la valeur maximale admissible du gradient de chute de tension : 2%. Ce dernier correspond à la chute de tension supplémentaire générée en un point du réseau si 1 kW monophasé est rajouté en ce même point.

4 Structure des réseaux

4.1 Généralités

Les zones agglomérées correspondent à des densités de charge moyennes ou importantes. Toutes les rues sont canalisées d'un côté, voire même des deux côtés si le réseau est très dense. Le réseau existant peut être aérien ou souterrain. Le nouveau réseau est presque exclusivement souterrain et se substitue, au fur et à mesure que croissent les charges, au réseau aérien. Les terrains étant en général difficiles à trouver pour créer de nouveaux postes HTA/BT, les raccordements d'immeuble ou de lotissement sont autant d'opportunités à étudier pour négocier un emplacement avec le promoteur. L'article R332-16 du code de l'urbanisme (décret n° 70-254 du 20 mars 1970) prévoit la mise à disposition par les constructeurs et lotisseurs d'un terrain ou d'un local dans le cadre d'une opération immobilière.

Les zones non agglomérées correspondent à des densités de charge réduites ou moyennes. Elles se rencontrent jusqu'en périphérie des bourgs. Les charges sont disséminées et leur répartition sur le territoire aléatoire. Le réseau aérien est prédominant. Le nouveau réseau pourra être aérien ou souterrain.

4.2 Postes et transformateurs HTA/BT

4.2.1 Généralités

Un réseau de distribution BT est issu d'un poste HTA/BT, appelé aussi poste de distribution publique. Deux catégories de poste HTA/BT sont présentes sur les ouvrages de distribution publique :

- Les postes HTA/BT sur poteau : ces postes HTA/BT de puissance limitée (50 à 160 kVA) sont alimentés via un réseau aérien HTA ;
- Les postes HTA/BT préfabriqués ou en immeuble : ces postes HTA/BT sont raccordés via une liaison souterraine ou aéro-souterraine HTA ;
 - poste HTA/BT préfabriqué au sol simplifié (PSS) : puissance de 100 à 250 kVA,
 - poste HTA/BT préfabriqué à couloir de manœuvre (PAC) : puissance de 400 à 1 000 kVA,
 - poste HTA/BT en immeuble : puissance de 400 à 1 000 kVA.

Un poste contient :

- 1 transformateur ;
- 1 à 2 directions pour un poste H61
- 8 départs maximum par transformateur > 250 kVA ;
- 4 départs maximum par transformateur \leq 250 kVA (hors H61) ;

La création d'un nouveau poste HTA/BT résulte :

- soit de l'apparition d'une nouvelle charge ou production importante (raccordement) ;
- soit de l'évolution des charges ou productions existantes, provoquant une contrainte sur le réseau.
- soit d'une mise en souterrain du réseau HTA.

Un poste HTA/BT neuf est placé de façon à desservir au mieux les charges à alimenter. Il tient compte de la structure HTA existante, ou de la structure cible à 5 ans.

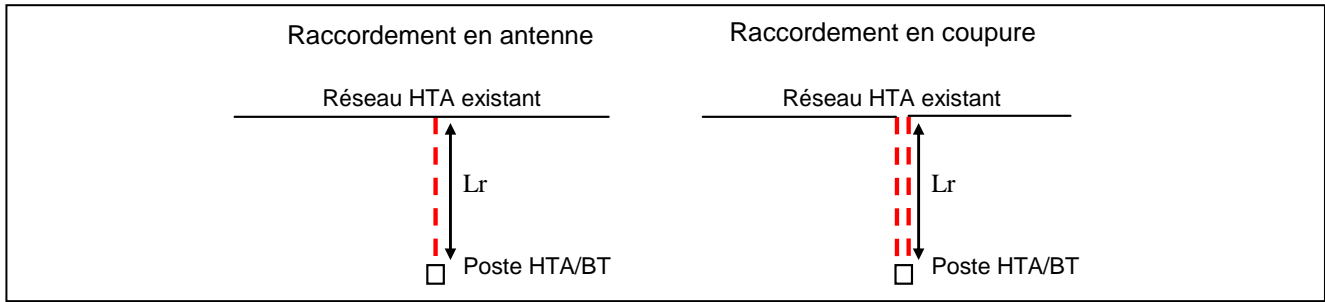
La position du poste HTA/BT neuf dépendra principalement d'un compromis entre le résultat de l'étude électrique et l'emplacement du terrain ou du local disponible pour l'y construire.

Un poste HTA/BT doit être conforme aux prescriptions de la norme NF C 11-201. Il doit être placé dans une zone non inondable ; si le seul emplacement disponible est situé dans une zone inondable, il sera mis hors d'eau à minima. GEREDIS doit avoir à toute heure un accès facile et immédiat au poste HTA/BT pour effectuer les opérations nécessaires à l'exploitation du réseau. Les postes HTA/BT enterrés seront évités car leur réalisation est très onéreuse et les contraintes d'exploitation sont importantes.

4.2.2 Insertion dans la structure HTA

Les différents types de raccordement des postes HTA/BT sont rappelés ci-dessous :

- Le raccordement en antenne (zones rurales et périurbaines) : le poste HTA/BT est raccordé au réseau HTA au moyen d'une seule canalisation ;
- Le raccordement en coupure d'artère (zones périurbaines et urbaines) : le poste de livraison est inséré en série sur un départ HTA ;



Un poste neuf doit tenir compte de la structure HTA existante, ou de la structure cible à 5 ans du schéma directeur (génie civil prévu pour un passage ultérieur en coupure d'artère, par exemple).

GEREDIS détermine le type de raccordement de poste HTA/BT en appliquant les règles ci-dessous, en fonction de deux critères :

- S_n (puissance nominale du transformateur HTA/BT) ;
- L_r (longueur de raccordement au réseau HTA, techniquement et administrativement réalisable, voir schéma ci-dessus).

• **Règles pour le raccordement d'un poste HTA/BT sur un départ HTA de type urbain :**

Un départ HTA de type urbain dessert majoritairement des communes urbaines¹, ou est composé de moins de 8 % de réseau HTA aérien en zone rurale².

Type de départ HTA	Urbain	
Caractéristiques du raccordement HTA	$L_r \leq 250m$	$L_r > 250m$
Type de réseau HTA à réaliser	Souterrain	
Solution de raccordement du poste HTA/BT	Coupure d'artère	Coupure d'artère ou Antenne selon bilan technico-économique HTA le plus favorable

• **Règles pour le raccordement d'un poste HTA/BT sur un départ HTA de type rural :**

Un départ HTA de type rural dessert majoritairement des communes en zone de base de l'Arrêté Qualité, et est composé de plus de 8 % de réseau HTA aérien.

Caractéristiques du raccordement HTA	Raccordement sur principale, secondaire bouclée, portion souterraine de dérivation		Raccordement sur dérivation aérienne (hors principale / secondaire bouclée)	
	$L_r \leq 250m$	$L_r > 250m$	$S_n > 400 \text{ kVA}$ ou $L_r \leq 250m$ ou zone boisée	$S_n \leq 400 \text{ kVA}$ et $L_r > 250m$ et zone non boisée
Type de réseau HTA à réaliser	Souterrain		Souterrain	Aérien ou Souterrain
Solution de raccordement du poste HTA/BT	Coupure d'artère	Coupure d'artère ou Antenne selon bilan technico-économique HTA le plus favorable		Antenne

¹ Commune urbaine : définit par l'INSEE (<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/commune-urbaine.htm>)

² Commune rurale : définit par l'INSEE (<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/commune-rurale.htm>)

4.3 Départs BT

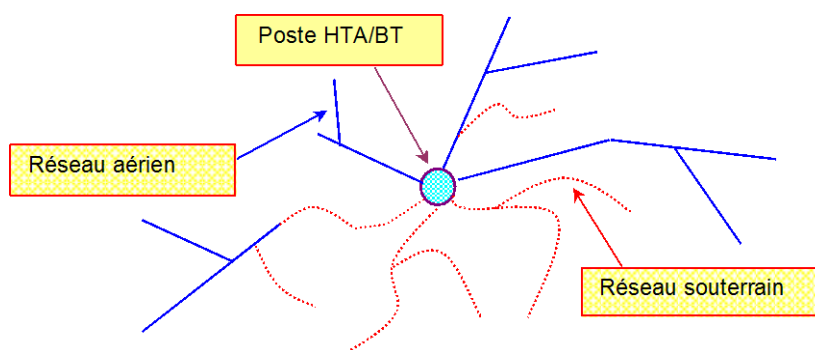
4.3.1 Généralités

L'architecture des réseaux BT est largement conditionnée par la voirie, la nature et la densité des constructions. Sauf cas particulier, la meilleure structure est la plus simple : de type arborescent, le moins de longueur possible, sections de conducteur uniques ou à défaut décroissantes.

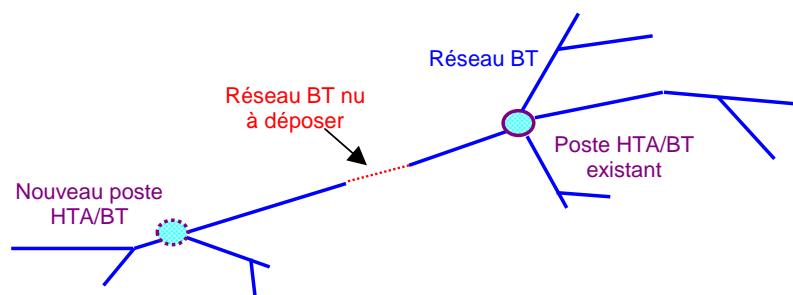
Les réseaux BT peuvent être réalisés en lignes aériennes (préassemblé) ou en câbles souterrains. La technique de réalisation est à choisir en fonction :

- du dimensionnement électrique ;
- de la densité de charge de la zone et de son évolutivité ;
- du contexte esthétique (prérogative du concédant)
- zone environnementale;
- du moindre coût des travaux.

Le schéma ci-dessous illustre la structure des réseaux BT à réaliser en urbain comme en rural. Elle fonctionne quelle que soit la densité de puissance et permet d'assurer une continuité de service satisfaisante.



Il n'y a pas lieu de concevoir une structure de secours avec un autre réseau BT. La ré-alimentation des utilisateurs en cas d'incidents doit se faire en déroulant un ou plusieurs câbles provisoires ou en installant un groupe électrogène. Cependant, en créant un nouveau poste, une possibilité de réalimentation peut s'établir de fait. Cette possibilité ne sera utilisée que si le réseau est en bon état et sans fil nu. Dans le cas contraire, le tronçon de réseau concerné sera déposé (voir schéma théorique ci-après).



Les contraintes électriques imposent une section minimale de conducteurs à respecter. Les sections à utiliser pour le réseau BT sont :

- en aérien, 70 mm² Alu et 150 mm² Alu ;

- en souterrain, 150 et 240 mm² Alu, et éventuellement 95 mm² Alu

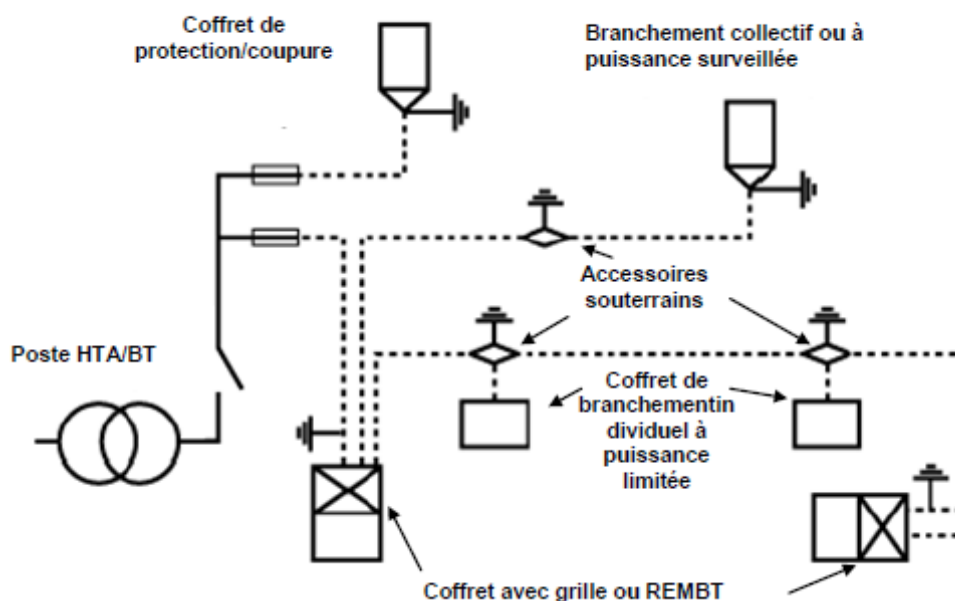
La section 95 mm² Alu sera toujours réservée aux voies non évolutives et peu chargées. En effet, les coûts des tranchées et des réfections de voirie sont tels, comparés au coût des câbles, qu'il ne sera jamais avantageux de poser une canalisation de petite section si son renforcement est à envisager quelques années plus tard. La section 150 mm² Alu Aérien sera réservée pour des cas particuliers.

4.3.2 Particularité des réseaux souterrains

Sur le réseau souterrain les principes suivants sont retenus :

- **REMBT ou GFC** : Dans le cas d'un renforcement et d'un effacement de réseau, la pose de REMBT est privilégiée car elle permet le raccordement de 6 branchements contre 3 pour une GFC.
- **GFC 240 / GFC 150** : Privilégier la pose d'une GFC 240 au lieu d'une GFC 150, cela permet une reprise ultérieure du réseau BT (Raccordement du câble BT sous ATST) sans obligation de consignation du départ.
- **GFC 150 IP2X / GE 150** : Privilégier la pose d'une GFC 150 IP2X au lieu d'une GE 150 (socle S20 simple) dans une voie sans issue, cela permet une reprise ultérieure du réseau BT (Raccordement du câble BT sous ATST) sans obligation de consignation du départ.
- **GFC en sortie de poste :**
Privilégier la pose d'une émergence BT (GFC / REMBT) en sortie de poste de distribution HTA / BT dans les cas suivants :
 - Poste H61 avec départ BT en souterrain
 - Poste socle (ancienne génération)
- **Boîte branchement souterrain en sortie de poste :**
Il est possible de réaliser une boîte branchement entre un poste de distribution et une première émergence, mais en suivant les règles de réalisation suivantes :

Conditions générales de mise à la terre du neutre BT d'un réseau souterrain



Mise à la terre des réseaux BT souterrains

Conformément à l'article 4 5 de l'arrêté interministériel fixant les conditions techniques de distribution de l'énergie électrique, le neutre des réseaux BT doit être mis directement à la terre.

Afin d'obtenir une qualité suffisante de cette mise à la terre des réseaux souterrains, il est nécessaire de réaliser sur chaque départ BT une ou plusieurs mises à la terre du neutre.

Le neutre ne peut être raccordé à la terre des masses des postes HTA/BT que si la résistance de prise de terre globale est inférieure à 2.5Ω (1Ω dans le cas d'une RPN 1000 A), condition le plus souvent remplie lorsque le poste est alimenté par un réseau HTA souterrain.

Réseau avec terre des masses et terre du neutre séparées

On réalisera la mise à la terre en dehors d'une zone de couplage de tous les accessoires souterrains situés en règle générale :

- à plus de 8 m* d'un poste HTA/BT et armoire HTA ;
- à plus de 8 m* d'une remontée aéro-souterrain HTA, pour une résistivité $\leq 500 \Omega.m$.

*Cette distance varie suivant la résistivité du sol.

- valeur multipliée par 2 pour une résistivité du sol comprise entre 500 et 3000 $\Omega.m$
- valeur multipliée par 3 pour une résistivité du sol supérieure ou égale à 3000 $\Omega.m$

Réseau avec terre des masses et terre du neutre communes (<1 Ω)

- mise à la terre de tous les accessoires souterrains ;
- mise à la terre des tronçons au niveau des émergences.

Dans les émergences et par principe, la mise à la terre du neutre se fait sur le câble venant du pote HTA/BT.

- Grille fausse coupure distante de 100m :

Il n'y a pas obligation de poser de GFC tous les 100m sur un départ BT direct sauf :

- sur du réseau BT urbain
- s'il y a une reprise ultérieure du réseau BT possible avec raccordement du câble BT sous ATST sans obligation de consigner le départ pour les travaux ou de réaliser une boîte BT.
- s'il y a une possibilité de réaliser le raccordement d'un futur branchement BT.
- s'il y a une extension de réseau BT future (ex : au niveau d'un carrefour...).

- Boîte branchement entre deux émergences :

Le nombre de boîte branchement (2 branchements max par boîte) entre deux émergences est limité à 3 (3*2 branchements) ou 6 (6*1 branchements).

Le nombre maximum de branchement entre deux émergences est limité à 6, ce nombre étant le maximum de branchement que l'on puisse réalimenter avec les moyens de dépannage mobilisable.

5 Principes généraux concernant le développement des réseaux

Pour assurer la cohérence de développement du réseau, ainsi que pour répondre à son obligation d'objectivité et de non-discrimination, GEREDIS applique des principes de développement du réseau communs aux dossiers de raccordement et aux dossiers traités en autofinancé.

Les principes de développement du réseau BT sont identiques dans le cas du raccordement de consommateurs, du raccordement de producteurs ou dans le cas d'une modification du réseau délibérée. Pour cette raison, dans le reste de la note, on entendra au sens « d'utilisateur », indifféremment un consommateur ou un producteur.

5.1 Seuils de contrainte électrique

5.1.1 Principe des seuils de contrainte

Les valeurs électriques énoncées ci-après (intensité, tension, gradient) sont basés sur une modélisation des charges et une description topologique du réseau.

5.1.2 Contrainte d'intensité

Sur les transformateurs HTA/BT

Un transformateur est en contrainte d'intensité lorsque sa charge est supérieure ou égale à 110% de sa puissance nominale (puissance 2h). Dans le cadre d'une étude de producteur, la charge du transformateur est calculée en déduisant la charge minimale du réseau BT. Cette dernière est estimée à 20% de la charge maximale.

Sur les câbles

Un câble est en contrainte lorsque l'intensité maximale transitant dans le câble est supérieure ou égale à son intensité maximale admissible (puissance 10mn). On utilise une intensité maximale admissible « hiver » dans les études de raccordement de consommateur, et une intensité maximale admissible « été » dans les études de producteur.

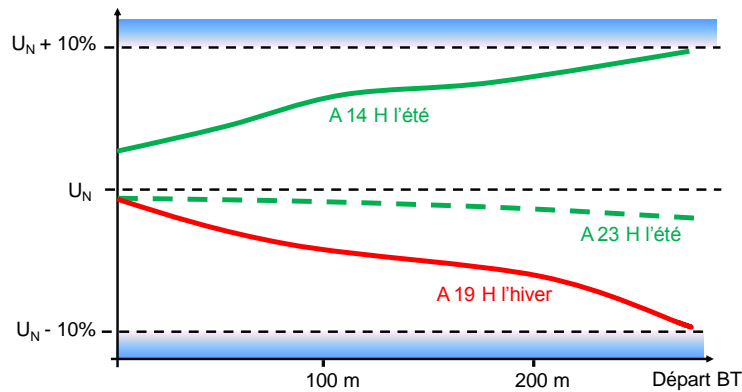
Dans le cadre d'une étude de raccordement de producteur, l'intensité max. transitée dans un câble est calculée en déduisant la charge minimale du réseau BT. Cette dernière est également estimée à 20% de la charge maximale.

L'intensité maximale admissible du câble est réduite si le câble passe sous fourreau ou s'il est à proximité d'autres câbles (écartement de 20 cm) à partir de 10 m de parcours commun (Norme NF C 14-100). Le facteur de correction suivant doit être appliqué :

	Câble(s) enterré(s) directement	Câble(s) sous fourreau(x)
1 câble	1	0.8
2 câbles	0.85	0.7
3 câbles	0.78	0.62
4 câbles	0.72	0.58

5.1.3 Contraintes de tension

La tension fluctue tout au long de l'année en fonction des utilisateurs qui sont raccordés et de la configuration du réseau (voir schéma théorique ci-dessous).



Exemple de variation de la tension le long d'un départ BT avec des consommateurs et des producteurs, à différents moments de l'année

La présence des producteurs BT complexifie la recherche de solution technique :

- une solution technique doit être viable en période de pointe, où il y a un risque de contraintes de consommation (courbe de tension à 19h l'hiver sur le schéma ci-dessus) ;
- une solution technique doit aussi être viable en période de faible charge, où il y a un risque de contraintes d'injection (courbe de tension à 14h l'été sur le schéma ci-dessus).

Production décentralisée et période de pointe

La production décentralisée ne permet pas de soulager le réseau pour des contraintes aux périodes de pointe de consommation car la production souvent disséminée n'est pas en corrélation avec les pointes de consommation. De plus, selon la technologie, la puissance injectée sur le réseau peut varier à tout instant entre 0 et leur puissance maxi de production en fonction des conditions météorologiques.

Production décentralisée et période de faible charge

Les périodes de tension haute ont lieu lorsque les Installations de Production décentralisée injectent leur puissance maximale alors que le réseau est peu chargé en consommation à ce moment-là.

Les producteurs étant quasi-exclusivement de type photovoltaïque, la puissance injectée sur un départ BT est synchrone. Pour cette raison, les puissances maximales de production sont toujours sommées sans être foisonnées.

La production BT est injectée sur le réseau BT au moyen d'onduleurs, qui sont réglés à la fabrication pour pouvoir injecter de l'énergie tant que la tension en sortie d'onduleur ne dépasse pas $U_N + 10\%$. En conséquence les producteurs BT ne peuvent pas normalement provoquer d'élévation de la tension BT au-delà de $U_N + 10\%$.

Principe du plan de tension

Pour garantir que la tension reste dans la plage $U_N \pm 10\%$, le plan de tension de GEREDIS prend en compte :

- le réglage de la tension au poste source ;
- le réglage optimisé de la tension sur le transformateur HTA/BT;
- la chute de tension dans le réseau HTA (plafonnée à 5% : seuil de dimensionnement du réseau HTA) ;
- l'élévation de tension dans le réseau HTA due aux producteurs ;
- la chute de tension BT (transformateur + ligne) ;
- l'élévation de tension dans le réseau BT due aux producteurs ;
- 1,5% de chute de tension (ou d'élévation de tension) dans le branchement ;
- tolérance de 1% due à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régulateur.

Réglage de la prise des transformateurs HTA/BT

Dans le cadre d'un raccordement d'un nouvel utilisateur du réseau BT, la prise doit être réglée conformément à la règle suivante :

	Transformateur HTA/BT alimentant un (des) producteur(s) BT	Transformateur HTA/BT n'alimentant pas de producteur BT
$\Delta U_{tot} < \Delta U_{cons} + 10\%$	+2.5% (410 V)	
$\Delta U_{tot} \geq \Delta U_{cons} + 10\%$	+5% (420 V)	

ΔU_{cons} = Ecart entre tension de consigne au Poste Source et tension nominale, en pourcentage par rapport à la tension nominale

ΔU_{tot} = chute de tension HTA au droit du poste HTA/BT + chute de tension BT (transformateur + ligne) en pourcentage par rapport à la tension nominale

Tension basse

Pour respecter le seuil de tension basse, le nouveau plan de tension impose que la tension **en tout point de raccordement** au réseau (PRR) soit supérieure ou égale à $U_n - 8.5\%$, soit :

	En monophasé	En triphasé
Tension minimale au PRR	210,4 V	366 V

Une chute de tension BT admissible est déterminée de manière à respecter les seuils ci-dessus. Cette chute de tension BT admissible est calculée par transformateur HTA/BT, en fonction du réglage de la tension au poste source et de la chute de tension dans le réseau HTA.

Il y a contrainte de tension basse lorsque la chute de tension BT (transformateur + ligne) dépasse la chute de tension BT admissible.

Remarque : pour les consommateurs ≥ 120 kVA disposant d'un comptage en limite de propriété, une chute de tension BT (transfo + ligne départ BT) allant jusqu'à la valeur (chute de tension BT admissible + 1.5%) est acceptable (chute de tension dans le branchement considérée comme nulle).

Tension haute

Le plan de tension est construit pour que le seuil de tension haute soit respecté en tenant compte des producteurs existants. Lorsqu'un nouveau producteur BT est raccordé, il faut donc vérifier son impact sur le plan de tension. Pour cela, on vérifiera que la tension **en tout point de raccordement au réseau** (PRR) ne dépasse pas $U_n + 8.5\%$, soit :

	En monophasé	En triphasé
Tension maximale au PRR	249,6 V	434 V

Pour faire ce calcul, on prend en compte :

- la tension au primaire du transformateur HTA/BT à $U_n + 4\%$;
- la chute de tension BT (transformateur + ligne) ;
- l'élévation de tension dans le réseau BT due aux producteurs ;
- 1,5% de chute de tension (ou d'élévation de tension) dans le branchement ;
- tolérance de 1% due à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régleur.

Remarque : pour les producteurs raccordés en départ direct avec comptage en limite de propriété, une tension au PRR allant jusqu'à 440 V est acceptable (élévation de tension dans le branchement considérée comme nulle).

5.1.4 **Contrainte de gradient**

Le gradient de chute de tension est la chute de tension supplémentaire générée en un point du réseau si 1 kW monophasé est rajouté en ce même point. Il doit être $\leq 2\%$ pour assurer une qualité de tension correcte chez les clients consommateurs.

5.2 Dimensionnement des ouvrages

5.2.1 Le dimensionnement économique

Le dimensionnement des ouvrages n'est pas uniquement basé sur les seuils de contraintes électriques précisés dans les paragraphes précédents, mais prend en compte d'autres critères tels que les pertes électriques. Ce principe de dimensionnement économique, en lieu et place du seul dimensionnement technique, est largement répandu chez tous les exploitants de réseau électrique, qu'il s'agisse de réseaux publics ou de réseaux privés. Les principes du calcul du dimensionnement économique figurent d'ailleurs très fréquemment dans les catalogues des fournisseurs de matériel : câbles, transformateur, etc.

Le principe de dimensionnement économique revient à choisir un palier technique³ qui est un optimum technico-économique. Le calcul est réalisé avec des hypothèses moyennes, comme décrit ci-dessous :

- le palier technique retenu est celui qui présente le coût minimal sur la durée de vie de l'ouvrage (N), ce coût étant égal à la somme du coût d'établissement (E) et du coût d'exploitation (D) actualisé ;
- le coût d'établissement (E) de l'ouvrage est constitué de la somme des coûts d'achat du matériel, de ses accessoires y compris leur mise en oeuvre et des travaux de pose ;
- le coût d'exploitation annuel de l'ouvrage (d) prend en compte les coûts de maintenance, les coûts de défaillance, ainsi que le coût des pertes électriques générées : pertes Joule dans les câbles, pertes Joule et fer dans les transformateurs. Ces pertes dépendent du dimensionnement de l'ouvrage (palier technique retenu) et du transit dans l'ouvrage. Les pertes sont achetées par GEREDIS sur le marché de l'électricité et valorisées ;
- 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 ;
- l'expression du coût d'exploitation (D) sur la durée de vie de l'ouvrage (N), actualisé à l'année initiale d'établissement est (en considérant que le coût d'exploitation annuel (d) est payé en fin d'année tout au long de la durée de vie N de l'ouvrage) :

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

Avec : **t** taux annuel d'actualisation 8%,

N durée de 40 ans par exemple pour les câbles

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

Le dimensionnement économique de l'ouvrage est celui qui minimise la valeur de E + D sur la durée de vie N..

5.2.2 Transformateurs HTA/BT

Pour choisir la puissance nominale d'un transformateur lors d'une mise en service ou après mutation, le domaine d'utilisation suivant est retenu :

Puissance nominale du transformateur	50 kVA ⁴	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1 000 kVA ⁵ (2)
Puissance maxi transitée dans le transformateur	30 kW	85 kW	135 kW	210 kW	335 kW	525 kW	835 kW

Ce dimensionnement optimise les pertes Fer et Joule et intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter l'installation d'un transformateur sous-dimensionné à la construction.

Lors de la création ou mutation d'un transformateur pour le raccordement de Sites de production, la puissance maximale transitée dans le transformateur pourra égaler la nominale du transformateur, comme détaillé dans le tableau ci-après. En effet, dans le cas du raccordement d'une Installation de Production, l'hypothèse d'une évolution sur plusieurs années de la puissance maximale injectée n'est pas pertinente. Par ailleurs, le profil de pertes dans le transformateur est spécifique au cas du raccordement d'une Installation de Production.

³ Par palier technique il faut entendre notamment les différentes sections de câble retenues par Enedis, la puissance unitaire des transformateurs HTA/BT, les génies civils de poste HTA/BT, etc.

⁴ L'utilisation des transformateurs 50 kVA est limitée aux zones peu denses et peu évolutives ; ils ne peuvent pas alimenter des utilisateurs de puissance de raccordement supérieure à 12 kVA monophasé ou 36 kVA triphasé.

⁵ L'utilisation des transformateurs 1000 kVA est limitée aux mises en service dans les zones urbaines denses et aux mutations de transformateur (marge d'évolution sur les transformateurs de 630 kVA).

Puissance nominale du transformateur	50 kVA ⁶	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1 000 kVA ⁷
Puissance maxi transitée dans le transformateur	50 kVA	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1 000 kVA

5.2.3 Départs BT

La section économique de câble sera utilisée systématiquement pour optimiser les pertes Joule. **Le 95² Alu souterrain sera toujours réservé aux voies non évolutives (impasse peu chargée).**

Pour toute création de réseau réalisée pour alimenter de nouveaux utilisateurs, la section économique fonction de la puissance de raccordement et du type de raccordement sera mise en œuvre :

- Raccordement d'utilisateurs $\leq 36\text{kVA}$ (individuel ou immeuble) :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu 9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance de raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

- Raccordement d'un utilisateur individuel > 36kVA :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu 9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance de raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 90 kVA	≥ 90 kVA

Remarque : Lorsque le réseau créé alimente à la fois la partie consommation et la partie production d'une installation, la section utilisée sera la plus forte des deux sections économiques.

Dans le cas où une modification est à effectuer sur le réseau (adaptation du réseau pour lever une contrainte, renouvellement de câble...), la section économique ci-dessous sera utilisée, en tenant compte de la puissance maxi transitée à l'année 0 dans le tronçon de réseau concerné :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance maxi transitée dans le réseau	< 50 kW	≥ 50 kW	< 40 kW	< 70 kW	≥ 70 kW

6 Raccordement de nouveaux utilisateurs

6.1 Notion de raccordement de référence

6.1.1 Définition

La notion de raccordement de référence figure dans l'arrêté du 28 août 2007. C'est le raccordement qui :

- est nécessaire et suffisant pour satisfaire l'alimentation en énergie électrique des installations du demandeur à la puissance de raccordement demandée ;

⁶ L'utilisation des transformateurs 50 kVA est limitée aux zones peu denses et peu évolutives ; ils ne peuvent pas alimenter des utilisateurs de puissance de raccordement supérieure à 12 kVA monophasé ou 36 kVA triphasé.

⁷ L'utilisation des transformateurs 1000 kVA est limitée aux mises en service dans les zones urbaines denses et aux mutations de transformateur (marge d'évolution sur les transformateurs de 630 kVA).

⁸ Réserve pour des cas particuliers (technique souterraine impossible)

⁹ Réserve aux voies non évolutives et peu chargées

- emprunte un tracé techniquement et administrativement réalisable, en conformité avec les dispositions du cahier des charges de la concession ;
- est conforme à la documentation technique de référence publiée par GEREDIS ;
- minimise la somme des coûts de réalisation des ouvrages de raccordement.

Le raccordement de référence doit en particulier minimiser la somme des coûts de réalisation des ouvrages de raccordement, tout en respectant :

- les seuils de contrainte électrique pour le nouvel utilisateur raccordé, ainsi que pour les utilisateurs existants alimentés par le même transformateur HTA/BT que le nouvel utilisateur (§ 5.1) ;
- le dimensionnement technico-économique des ouvrages (§ 5.2) ;
- les règles du plan de protection de GEREDIS.

L'opération de raccordement de référence est proposée à l'utilisateur :

- pour répondre aux demandes de raccordement d'installations de production ou de consommation ;
- pour modifier les caractéristiques électriques d'une alimentation principale existante.

La puissance de raccordement est celle définie par l'utilisateur, en cohérence avec les paliers éventuels du segment considéré. Pour un consommateur, elle correspond à la puissance maximale qu'il pourra souscrire. Pour un producteur, elle correspond à la puissance maximale qu'il pourra injecter sur le réseau BT.

6.1.2 Enjeu

Jusqu'au 1^{er} janvier 2009¹⁰, le coût de raccordement était indépendant des éventuels remplacements d'ouvrage à effectuer. Depuis, pour certaines opérations, les coûts de raccordement résultent de la solution technique réalisée (création et remplacement d'ouvrages). Ces coûts figurent dans le barème de facturation publié par GEREDIS.

Pour certaines opérations, les coûts de raccordement sont établis à l'issue d'une étude électrique.

Pour les autres opérations, le raccordement est facturé selon une formule simplifiée qui ne tient pas compte des renforcements ou création de poste HTA/BT éventuels.

6.2 Détermination du raccordement de référence

6.2.1 Tracé et section du réseau créé

Le raccordement sera étudié jusqu'au point du réseau BT existant le plus proche, ou jusqu'au poste HTA/BT le plus proche (existant ou à prévoir dans le cadre de l'étude), selon la puissance de raccordement demandée et la topologie du réseau.

Pour toute création de réseau réalisée pour alimenter le(s) nouveau(x) utilisateur(s), la section économique de câble fonction du type d'utilisateur (consommateur C5, C4, immeuble, lotissement, producteur) sera utilisée.

Le plan de protection des réseaux BT et la coordination des protections transformateur HTA/BT - réseau - branchement client doivent également être pris en compte dans le choix de la solution de référence.

6.2.2 Etude de raccordement d'un site consommateur sans production

L'impact de la nouvelle installation sur les ouvrages est étudié avec la puissance de raccordement, sans prendre en compte d'évolutivité des charges.

Les charges des consommateurs existants sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement.

¹⁰ 1^{er} janvier 2009 :

date de dépôt de l'AU pour les projets soumis à AU (AU : Autorisation d'Urbanisme) ;
date de la demande de raccordement pour les projets non soumis à AU (arrêté du 17 juillet 2008).

Il est nécessaire d'inclure dans cette étude les futurs utilisateurs (consommateurs et producteurs) présents sur la file d'attente (conformément au dispositif de gestion des files d'attente). Les charges des consommateurs dans la file d'attente sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement.

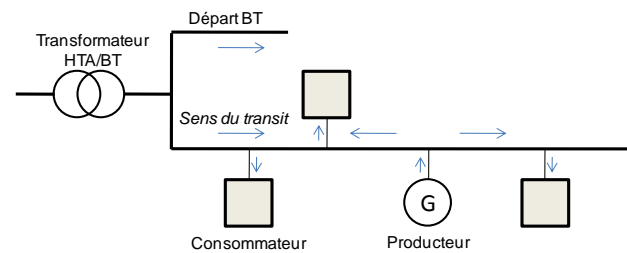
Les charges des producteurs sont considérées comme découplées du réseau. En effet la production décentralisée ne permet pas de soulager le réseau pour des contraintes aux périodes de pointe : ces installations produisent suivant leur propre logique, la puissance injectée sur le réseau pouvant varier à tout instant entre 0 et leur puissance de raccordement.

Les travaux pour lever des contraintes qui préexistent (dus à des consommateurs ou des producteurs existants) ne doivent pas être mis à la charge de l'opération de raccordement. Dans le cadre de l'étude, c'est à partir d'une situation remise à niveau par rapport aux seuils définis dans le §5.1 que la solution de référence est déterminée.

6.2.3 Etude de raccordement d'un site producteur

L'effet du raccordement d'un producteur sur un départ BT est double :

- Diminution ou inversion de la puissance résultante dans le départ BT, voire dans le transformateur HTA/BT,
- Élévation de la tension du départ, à cause de la modification des transits de puissance le long du départ.



Exemple de transits de puissance en présence d'un producteur BT

Dans le cas particulier d'un raccordement d'un site producteur et consommateur à la fois, deux études d'impact doivent être faites :

- Une étude avec les charges des clients consommateurs existants et en file d'attente, et le nouveau site consommateur,
- Une étude avec les charges minimales des clients existants, et en file d'attente, et du nouveau site consommateur, les producteurs existants et le nouveau site producteur.

L'impact de la nouvelle installation de production sur les ouvrages est étudié avec la puissance de raccordement, sans prendre en compte d'évolutivité des charges.

- Les charges des consommateurs existants et en file d'attente sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement.
- Les charges des producteurs existants et présents en file d'attente sont prises en compte sans facteur de foisonnement.
- Les transits (transformateur, câbles) sont calculés en déduisant la charge minimale de consommation du réseau BT. Cette dernière est estimée à 20% de la charge maximale.

Les travaux pour lever des contraintes qui préexistent (dus à des consommateurs ou des producteurs existants) ne doivent pas être mis à la charge de l'opération de raccordement. Dans le cadre de l'étude, c'est à partir d'une situation remise à niveau par rapport aux seuils définis dans le §5.1 que la solution de référence est déterminée.

6.2.4 Solutions possibles pour lever une contrainte

L'analyse et la résolution des contraintes sont menées dans l'ordre suivant :

- contrainte d'intensité sur le transformateur ;
- contrainte d'intensité sur le réseau ;
- contrainte de tension ;

- contrainte de gradient.

En effet, la levée d'une contrainte en amont permet souvent de lever une contrainte en aval.

Les solutions possibles sont :

- le changement du transformateur HTA/BT ;
- le changement de section des conducteurs ;
- l'accroissement du nombre de départs ;
- la création d'un poste HTA/BT supplémentaire.

6.2.5 Solution retenue

GEREDIS peut réaliser une opération de raccordement différente du raccordement de référence :

- S'il la réalise à la demande de l'utilisateur ou de la commune, le demandeur prend à sa charge tous les surcoûts éventuels.
- S'il décide de le faire de sa propre initiative, GEREDIS prend à sa charge tous les surcoûts éventuels.

Remarque :

La réalisation d'une solution différente du raccordement de référence est possible, mais la recherche systématique par GEREDIS d'une solution alternative à sa charge financière reste de son initiative.

Exemple : création d'un départ BT neuf pour raccorder un client

Si la zone d'étude est agglomérée et dense, et que la solution de référence est de réaliser un départ neuf en 150² Alu souterrain, GEREDIS peut choisir dans certains cas de réaliser le tronçon en sortie de poste HTA/BT en 240² Alu souterrain. Cette solution permettra de répondre à une croissance en profondeur (hors nouveaux raccordements). Le surcoût sera à la charge de GEREDIS.

6.3 Raccordement d'un ou deux utilisateurs individuels ≤ 36 kVA

6.3.1 Puissance de raccordement

L'utilisateur choisit sa puissance de raccordement en cohérence avec les paliers définis dans le barème de facturation. Pour un consommateur, la puissance de raccordement doit être supérieure ou égale à sa puissance souscrite. Pour une demande groupée de 2 utilisateurs, les puissances de raccordement seront additionnées.

Le Producteur choisit sa puissance de raccordement au kVA près, jusqu'à 6 kVA en monophasé ou 36 kVA en triphasé.

6.3.2 Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, il sera réalisé :

- en aérien, en 70² Alu ;
- en souterrain :
 - en 95² Alu si la puissance de raccordement est < 60 kVA et que le réseau créé est dans une voie non évolutive (impasse...) ;
 - à minima en 150² Alu dans les autres cas.

6.4 Raccordement d'un utilisateur individuel > 36 kVA

6.4.1 Puissance de raccordement

L'utilisateur choisit sa puissance de raccordement selon les règles du barème de facturation. Pour un consommateur, la puissance de raccordement doit être supérieure à la puissance souscrite et aux prévisions de dépassement de puissance souscrite.

Le producteur choisit sa puissance de raccordement au kVA près.

6.4.2 Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, le réseau est réalisé avec les sections ci-dessous :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu 9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance de raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 90 kVA	≥ 90 kVA

Un utilisateur sera alimenté par un départ BT direct neuf à partir de 120 kVA de puissance de raccordement (obligatoire pour la sélectivité des protections). La puissance de ce départ est limitée à 250 kVA (NF C 14-100).

6.5 Raccordement d'un immeuble (≥ 3 utilisateurs)

Dans ce paragraphe, on désigne sous le terme d'immeuble toute opération de raccordement d'un branchement collectif vertical.

6.5.1 Puissance de raccordement

Le promoteur définit en concertation avec GEREDIS, dans le respect de la NF C14-100 :

- la puissance des utilisateurs domestiques, avec ou sans chauffage électrique ;
 - la puissance des utilisateurs non domestiques ≤ 36 kVA (y compris les services généraux) ;
- ainsi que la puissance de raccordement de chaque utilisateur > 36 kVA s'il y en a, comme au § 6.4.1.

La puissance de raccordement est calculée en faisant la somme des puissances. Seules les puissances des utilisateurs domestiques sont pondérées.

Pour étudier l'impact de l'immeuble sur les ouvrages électriques existants, on simule le raccordement d'une charge dont la puissance est égale à la puissance de raccordement de l'immeuble.

6.5.2 Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, le réseau est réalisé avec la section économique correspondant à la puissance de raccordement de l'immeuble :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu 9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

6.5.3 Immeuble raccordé au poste HTA/BT

- Départ BT neuf

Un départ neuf alimentant l'immeuble doit être dimensionné pour que la chute de tension max. dans le réseau n'excède pas 5%¹¹. Ce seuil intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter la réalisation d'un réseau saturé à la construction.

- Poste HTA/BT neuf

En fonction de la puissance de raccordement, la création d'un poste HTA/BT peut être nécessaire pour alimenter l'immeuble. La solution technique est déterminée par GEREDIS. Le génie civil du poste HTA/BT et le transformateur seront dimensionnés de façon à ce qu'ils puissent transiter la puissance de raccordement.

6.6 Raccordement d'un collectif horizontal (≥ 3 utilisateurs)

Le paragraphe suivant ne s'applique pas aux zones d'activités et aux zones industrielles.

6.6.1 Puissance de raccordement

Lorsque l'opération est un lotissement constitué de pavillons seuls, le promoteur définit en concertation avec GEREDIS, dans le respect de la NF C 14-100, la puissance correspondant à chaque parcelle. La puissance de raccordement est calculée en faisant la somme des puissances foisonnées.

¹¹ Dans le respect de la norme NF C14-100

La NF C 14-100 ne traitant que des lotissements, lorsque l'opération est constituée de pavillons, d'immeubles d'habitation et de quelques utilisateurs non domestiques (petit centre commercial, crèche par exemple), le principe suivant sera appliqué.

Le promoteur définit en concertation avec GEREDIS la puissance correspondant à :

- chaque pavillon : dans le respect de la NF C14-100 ;
- chaque immeuble : selon le § 6.5.1 ;
- chaque utilisateur non domestiques : selon les § 6.3.1 et 6.4.1.

La puissance de raccordement est calculée en faisant la somme des puissances. Seules les puissances des utilisateurs domestiques sont pondérées.

Ces deux types d'opération seront repris sous le terme « lotissement » dans les paragraphes suivants.

Pour étudier l'impact du lotissement sur les ouvrages électriques existants, on simule le raccordement d'une charge dont la puissance est égale à la puissance de raccordement du lotissement.

6.6.2 Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau (en dehors de la desserte intérieure du lotissement), elle sera réalisée avec les sections ci-dessous :

	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
Section économique	70 ² Alu	150 ² Alu8	95 ² Alu 9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance de raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

6.6.3 Dimensionnement du réseau BT à l'intérieur du lotissement

La section de chaque tronçon à l'intérieur du lotissement respectera le dimensionnement de la NF C14-100 :

	Technique Souterraine		
Section	95 ² Alu9	150 ² Alu	240 ² Alu
Puissance transitée	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 et ≤ 180 kVA

La puissance transitée dans un tronçon du réseau BT sera calculée en faisant la somme des puissances sur ce tronçon et celles des tronçons en aval, selon la même méthode que dans le § 6.6.1.

6.6.4 Lotissement raccordé au poste HTA/BT

- Départ BT neuf

Un départ neuf alimentant un lotissement doit être dimensionné pour que la chute de tension max. dans le réseau n'excède pas 5%, la puissance du départ étant limitée à 180 kVA (NF C 14-100).

- Poste HTA/BT neuf

En fonction de la taille de l'opération, le raccordement de référence peut nécessiter la création d'un ou plusieurs poste(s) HTA/BT. La solution technique est déterminée par GEREDIS.

Le génie civil du poste HTA/BT est dimensionné de manière à pouvoir accueillir un transformateur de puissance nominale immédiatement supérieure à la puissance de raccordement du lotissement. Ce dimensionnement intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter l'installation d'un poste HTA/BT sous-dimensionné à la construction.

La puissance nominale du transformateur à installer est déterminée en utilisant le tableau du paragraphe 5.2.2 et en prenant les hypothèses suivantes :

- Puissance totale foisonnée du projet
- Cos_phi : 0.89
- Facteur de foisonnement au niveau du transformateur : 0.9