

CONSULTATION PUBLIQUE

Du 7 avril 2017 au 19 mai 2017

**Une modélisation ascendante d'un réseau de boucle
locale optique mutualisée et son utilisation pour la
tarification du dégroupage**

7 avril 2017

Préambule : modalités pratiques de consultation publique

La présente consultation publique est ouverte jusqu'au 19 mai 2017 à 18h00. L'avis des acteurs du secteur est sollicité sur l'ensemble des documents mis en consultation et en particulier en réponse aux 31 questions posées par l'Autorité. Seules les contributions arrivées avant l'échéance seront prises en compte.

Les réponses doivent être transmises à l'Arcep de préférence par courrier électronique à l'adresse suivante : [pairedecuire\[@\]arcep.fr](mailto:pairedecuire[@]arcep.fr). Elles peuvent également être transmises par courrier à l'adresse suivante :

Monsieur Stéphane Lhermitte
Directeur économie, marchés et numérique
Autorité de régulation des communications électroniques et des postes
7, square Max Hymans
75730 Paris Cedex 15

L'Arcep, dans un souci de transparence, publiera l'intégralité des réponses qui lui auront été transmises, à l'exclusion des parties couvertes par le secret des affaires. Dès lors que leur réponse contiendrait de tels éléments, les contributeurs sont invités à transmettre leur réponse en deux versions:

- une version confidentielle, dans laquelle les passages couverts par le secret des affaires sont identifiés entre crochets et surlignés en gris : «une part de marché de [25]» ;
- une version publiable, dans laquelle les passages couverts par le secret des affaires auront été remplacés par «...» : «une part de marché de «...»%».

Les contributeurs sont invités à limiter autant que possible les passages couverts par le secret des affaires. L'Autorité pourra déclasser d'office des éléments d'information qui par leur nature ne relèvent pas du secret des affaires.

Table des matières

1	Objectifs et éléments mis en consultation publique	5
1.1	Objectif du modèle	5
1.2	Objet de la consultation publique	5
2	Les grands principes de la modélisation présentée	6
2.1	Le type de réseau et d'opérateur modélisés	6
2.2	Le périmètre du réseau modélisé.....	8
2.3	Équilibre entre simplicité du modèle et robustesse des résultats	8
2.4	Licence	9
3	Le fonctionnement du modèle	10
3.1	Fonctionnement général du modèle	10
3.1.1	Les principaux enjeux du module topologique	11
3.1.2	Les principaux enjeux du module de déploiement.....	13
3.1.3	Les principaux enjeux du module de coûts	15
3.2	Introduction à la description détaillée	16
3.2.1	Schéma global de fonctionnement	16
3.2.2	L'utilisation du modèle en pratique.....	17
3.2.3	L'organisation technique du code Java™	17
3.3	Module topologique : la détermination du tracé.....	19
3.3.1	Description générale.....	19
3.3.2	Fonctionnement technique global.....	21
3.3.3	Le prétraitement des données	22
3.3.4	Le regroupement des NRA en NRO.....	24
3.3.5	Tracé du réseau : associer demande localisée et réseaux physiques.....	28
3.4	Module de déploiement : calcul des unités d'œuvre	33
3.4.1	Description générale.....	33
3.4.2	Fonctionnement technique global.....	35
3.4.3	Choix de la demande cible	36
3.4.4	Placement des PM	37
3.4.5	Calcul des unités d'œuvre	39
3.5	Module de coûts.....	45
3.5.1	Les coûts de patrimoine	46

3.5.2	Les coûts d'exploitation	49
3.5.3	Les coûts communs.....	51
3.5.4	Autres coûts.....	51
4	Premiers résultats à titre indicatif : les grandeurs physiques	52
5	Modalités d'utilisation pour la tarification du dégroupage.....	53
5.1	Prise en compte de la fiscalité spécifique à la paire de cuivre.....	53
5.2	Prise en compte des coupleurs optiques	53
5.3	Choix du réseau moderne efficace	54
5.3.1	Le raccordement final	54
5.3.2	Le réseau moderne efficace en zones moins denses d'initiative publique.....	54
5.4	Modalités de calcul de l'annuité	55
Annexe 1 : Conditions de réutilisation des Fichiers Sources élaborés par l'Arcep -Licence Ouverte		57
Annexe 2 : Tableaux de correspondance		58

Une modélisation ascendante d'un réseau de boucle locale optique mutualisée et son utilisation pour la tarification du dégroupage

1 Objectifs et éléments mis en consultation publique

1.1 Objectif du modèle

Dans sa consultation publique menée du 9 février au 15 mars 2017 sur un « projet de décision d'analyse de marché 3a de fourniture en gros d'accès local en position déterminée : marché pertinent du haut et du très haut débit fixe »¹, l'Autorité a indiqué qu'elle s'interrogeait, dans le cadre de la tarification du dégroupage total, sur *« l'opportunité de s'appuyer également, dès le prochain cycle d'analyse des marchés, sur des références complémentaires aux coûts unitaires de la paire de cuivre tels que calculés actuellement dans le modèle réglementaire des coûts d'Orange, de façon à intégrer comme signal de long terme la future infrastructure de référence »* (§4.6.3.c).

L'Autorité a ajouté *«[qu']à ce titre et au vu du choix conjoint des opérateurs et de la puissance publique de s'orienter, sur le territoire français, vers le déploiement massif de boucles locales optiques jusqu'à l'abonné, l'Autorité a entrepris de développer des éléments de modélisation ascendante (dite « bottom-up ») et géographique du coût de déploiement d'un tel réseau en fibre optique jusqu'à l'abonné sur l'ensemble du territoire »*.

La Commission européenne a également précisé dans sa recommandation n° 2013/466/UE dite *« non-discrimination et méthodes de coûts »*² que *« pour fixer les tarifs de gros d'accès par le cuivre [...] les ARN devraient adopter une méthode de calcul des coûts BU LRIC+ (modèle ascendant des coûts différentiels à long terme plus) qui associe une approche de modélisation ascendante utilisant le modèle LRIC comme modèle de coûts à une majoration pour la récupération des coûts communs »* (§30).

L'Autorité a donc développé un tel modèle permettant ainsi d'avoir un référentiel supplémentaire au modèle de comptabilité réglementaire descendante d'Orange pour la tarification du dégroupage.

1.2 Objet de la consultation publique

En préalable à la fixation de l'encadrement tarifaire 2018-2020 du dégroupage, l'Autorité souhaite obtenir le retour des acteurs du secteur aussi bien sur le modèle qu'elle a développé que sur les modalités de son utilisation pour la tarification du dégroupage. Elle souhaite ainsi consulter les acteurs sur les points suivants :

- le modèle en lui-même : le présent document décrit le fonctionnement détaillé du modèle, dont les fichiers sources sont joints au présent document (ils se composent d'un code source Java™ et d'un fichier Excel³) ;

¹ http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/consult-adm_3a-fev17.pdf

² Recommandation n°2013/466/UE du 11 septembre 2013 sur des obligations de non-discrimination et des méthodes de calcul des coûts cohérentes pour promouvoir la concurrence et encourager l'investissement dans le haut débit

³ Les conditions de réutilisation des fichiers sources sont précisées en section 2.4.

- les paramètres d'entrée du modèle, qui se composent notamment des paramètres d'architecture et de dimensionnement du réseau modélisé (ils sont rappelés dans un fichier Excel), des coûts unitaires des éléments de réseau, leurs durées de vie, leurs taux de progrès technique, et des paramètres de dimensionnement des coûts d'exploitation (ils sont présentés dans les onglets « Paramètres » et « Coûts unitaires » du module de coûts)⁴ ;
- les modalités d'utilisation du modèle et de ses résultats dans le cadre de la tarification du dégroupage.

La section 2 du présent document expose les grands principes guidant la modélisation présentée (pp. 6-9), la section 3 détaille le fonctionnement du modèle, les choix de modélisations et les paramètres retenus (pp. 10-51), la section 4 présente à titre indicatif des premiers résultats de grandeurs physiques issues de la modélisation (p. 52), la section 5, enfin, aborde les modalités d'utilisation de cette modélisation dans le cadre de la tarification du dégroupage (pp. 53-56).

2 Les grands principes de la modélisation présentée

Pour élaborer le modèle mis en consultation publique, l'Autorité a pu s'appuyer sur les résultats des travaux similaires et récents dans d'autres pays, notamment en Europe.

Cette section présente les grands principes retenus pour la construction du modèle mis en consultation publique. Elle présente tout d'abord le type de réseau modélisé, puis son périmètre, et enfin les choix réalisés pour concilier simplicité et robustesse du modèle.

2.1 Le type de réseau et d'opérateur modélisés

L'objectif de la modélisation développée est de pouvoir utiliser les résultats du modèle de façon pertinente dans le cadre de la tarification du dégroupage total.

Pour choisir le réseau à modéliser, l'Autorité a pris en compte, d'une part, la recommandation précitée, qui indique que « *les ARN devraient adopter une méthode de calcul des coûts ascendante LRIC+ consistant à estimer le coût courant qu'un opérateur efficace hypothétique encourrait pour construire un réseau moderne efficace, c'est-à-dire un réseau NGA⁵* » (§31), et d'autre part, le cadre de régulation en vigueur en France, notamment les obligations en matière de positionnement et de dimensionnement des points d'accès (point de mutualisation, le cas échéant, point de raccordement distant mutualisé, généralement confondu avec le nœud de raccordement optique).

1. L'Autorité retient le choix d'une architecture de boucle locale optique mutualisée (BLOM).

Ce choix d'architecture est cohérent avec la recommandation précitée : les opérateurs qui déploient en France des boucles locales alternatives à la boucle locale cuivre traditionnelle déploient généralement des boucles locales optiques mutualisées.

L'architecture BLOM pourrait toutefois ne pas être considérée comme le réseau moderne efficace sur l'ensemble du territoire : ce point est abordé en partie 5.3.2.

2. Le déploiement se fait dans le respect du cadre actuel de régulation. En effet, un opérateur qui construirait un réseau moderne efficace devrait respecter ce cadre. En particulier, sauf cas exceptionnels, en zones moins denses, les nœuds de raccordement optique (NRO), donnant

⁴ D'autres fichiers d'entrée décrits en partie 3 (comme par exemple les bases de données provenant d'Orange et de l'Institut géographique national) ne sont pas publiés, de par leur nature confidentielle ou commerciale.

⁵ Réseau d'accès de nouvelle génération (*next generation access*).

accès à au moins 1 000 lignes, sont confondus avec les points de raccordement distant mutualisés (PRDM), et les points de mutualisation (PM) respectent la pratique des acteurs s'agissant du positionnement et les seuils en vigueur en fonction des zones.

3. L'opérateur est « efficace » et « hypothétique » : le modèle cherche à optimiser le coût du réseau et n'est pas basé sur les déploiements réels d'opérateurs existants.
4. L'opérateur utilise, lorsqu'elle est disponible et économiquement plus avantageuse, l'infrastructure de génie civil existante, conformément à la recommandation précitée qui précise que les autorités de régulation nationales « devraient également inclure dans ce modèle tout actif de génie civil existant qui est, d'une manière générale, aussi capable d'accueillir un réseau NGA » et qu'elles « ne devraient pas partir du principe qu'il est nécessaire de construire une infrastructure de génie civil complètement nouvelle pour déployer un réseau NGA » (§32).
5. Dans le cas contraire, il construit les infrastructures de génie civil nécessaires au déploiement du réseau⁶. Les autres éléments du réseau sont dans tous les cas reconstruits.
6. L'opérateur modélisé est un opérateur de gros. L'éventuelle filiale de détail de l'opérateur n'est pas modélisée.
7. L'opérateur est unique et le périmètre géographique de son réseau correspond à la France métropolitaine ainsi qu'aux territoires ultra-marins couverts par le champ d'application du projet d'analyse de marché 3a.
8. Les coûts « LRIC » correspondant à des « coûts différentiels à long terme » où les coûts se sont parfaitement adaptés à la demande, il est supposé que le remplissage du réseau est immédiat, c'est-à-dire que les clients finals souscrivent la fibre dès que le réseau est construit.
9. Il est supposé que le réseau est construit instantanément, puisque la donnée recherchée est le coût de redéploiement à neuf du réseau moderne efficace NGA, en faisant abstraction des problématiques de *cash-flow* d'un opérateur réel.

Question 1. Avez-vous des commentaires au sujet des caractéristiques générales retenues par l'Autorité pour définir le type de réseau modélisé ?

⁶ Cf. recommandation n° 2013/466/UE : « Lorsqu'elles modélisent un réseau NGA, les ARN devraient définir un réseau NGA efficace hypothétique, permettant d'atteindre les objectifs de la SNE concernant le débit, la couverture et l'adoption et composé en totalité ou en partie d'éléments optiques. Elles devraient également inclure dans ce modèle tout actif de génie civil existant qui est, d'une manière générale, aussi capable d'accueillir un réseau NGA ainsi que les nouveaux actifs de génie civil qui devront être construits pour accueillir un réseau NGA. Par conséquent, lorsqu'elles élaborent un modèle ascendant LRIC+, les ARN ne devraient pas partir du principe qu'il est nécessaire de construire une infrastructure de génie civil complètement nouvelle pour déployer un réseau NGA. »

2.2 Le périmètre du réseau modélisé

Le périmètre modélisé porte sur la boucle locale, ici une boucle locale optique mutualisée (cf. *supra*), hors raccordement final. Les réseaux de cœur et de collecte ne sont donc pas modélisés dans le présent modèle. Le périmètre modélisé correspond donc aux segments entourés en rouge du schéma ci-dessous⁷ :

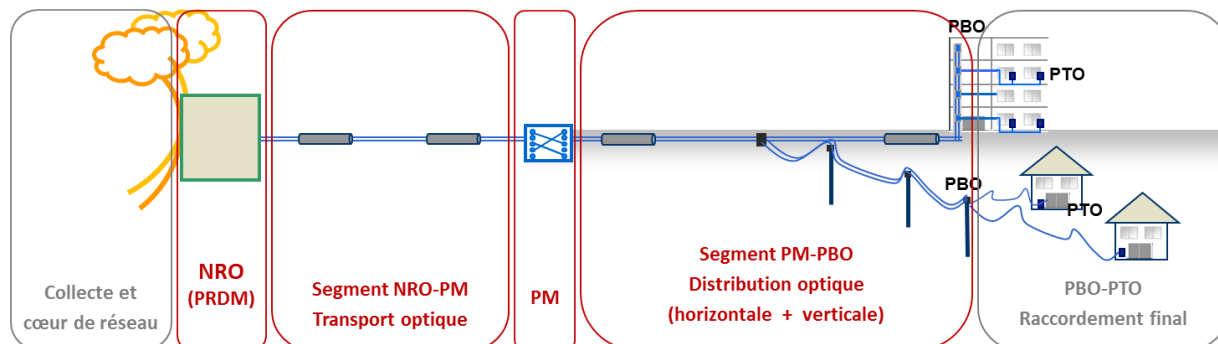


Figure 1 : schéma du réseau modélisé

Le raccordement final, c'est-à-dire la partie du réseau située entre le point de branchement optique (PBO) et le dispositif terminal intérieur optique (DTIo), souvent désigné comme la « prise terminale optique » (PTO), est partie intégrante de la boucle locale optique mutualisée. Le modèle mis en consultation publique ne comprend toutefois pas cet élément, qui pourrait faire l'objet d'une modélisation à part. La question de l'opportunité de l'intégration de tout ou partie du coût du raccordement final pour le calcul du tarif du dégroupage est abordée en section 5.3.1.

Question 2. Avez-vous des commentaires au sujet du choix fait par l'Autorité pour le périmètre du réseau modélisé ?

2.3 Équilibre entre simplicité du modèle et robustesse des résultats

Par essence, un modèle, tout en ayant pour finalité de restituer une situation crédible et objective, est nécessairement simplificateur.

L'Autorité ne cherche pas à simuler l'ensemble des pratiques de déploiement d'un opérateur efficace hypothétique, mais à proposer des méthodes de modélisation réalistes et d'une complexité modérée permettant de déterminer les coûts supportés par un tel opérateur et, *in fine*, d'avoir une estimation représentative des coûts de reconstruction d'un réseau moderne efficace NGA.

L'Autorité a identifié plusieurs éléments susceptibles d'imposer une charge de travail non proportionnée au regard des objectifs poursuivis dans la finesse des résultats, notamment lorsqu'il est possible de s'appuyer sur des éléments provenant du réseau d'Orange. Ainsi, afin de trouver le meilleur équilibre entre, d'une part, la simplicité du modèle (en termes de charge de travail pour l'ensemble des parties prenantes) et, d'autre part, la précision et la robustesse des résultats qu'il produit, les approches de simplification suivantes, détaillées en section 3, ont été retenues :

⁷ À l'exception des coupleurs optiques posés au niveau des PM par les opérateurs commerciaux (cf. sur ce point la section 5.2)

- lorsque le génie civil d'Orange n'est pas disponible (ou lorsque l'information n'est pas disponible), la reconstruction du génie civil par l'opérateur se fait selon les axes routiers ;
- les PBO sont placés au niveau des points de concentration (PC) du réseau cuivre d'Orange ;
- les NRO sont choisis parmi les NRA existants du réseau cuivre d'Orange.

Question 3. *Avez-vous des commentaires sur ces approches de simplification retenues par l'Autorité ?*

2.4 Licence

Dans un souci de transparence, l'Autorité publie à l'occasion de cette consultation publique les fichiers sources du modèle, à savoir le code source Java™ et le tableur Excel du module de coûts. Cette publication se fait sous une licence ouverte (y compris pour une réutilisation commerciale) sous condition d'une mention de paternité. Cette licence est détaillée en annexe 1.

Question 4. *Le choix de licence retenu par l'Autorité répond-il à vos besoins, le cas échéant ?*

3 Le fonctionnement du modèle

Cette section décrit en détail le fonctionnement du modèle et les enjeux sous-jacents aux choix de modélisation et des paramètres. Elle prévoit trois niveaux de lecture :

- le lecteur souhaitant avoir un aperçu global du fonctionnement du modèle et être informé des principaux enjeux pourra se reporter à la section 3.1 ;
- le lecteur souhaitant comprendre en détail les enjeux des algorithmes et se prononcer sur les choix de modélisation et de paramètres pourra également se reporter aux sections 3.3.4, 3.3.5, 3.4.3, 3.4.4, 3.4.5 et 3.5 ;
- enfin, les sections 3.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.4.1, 3.4.2 et les sous-sections « b) Description technique » des sections du deuxième niveau de lecture sont conçues comme une aide à la lecture du code source et d'adressent à des lecteurs maîtrisant les principes de base de la programmation orientée objet en Java™⁸ et de l'algorithmique.

3.1 Fonctionnement général du modèle

L'Autorité identifie trois grands enjeux de modélisation correspondant aux trois modules du schéma ci-après : le *module topologique* effectue le tracé physique du réseau, zone arrière de NRO par zone arrière de NRO ; le *module de déploiement* part de ce tracé pour calculer toutes les unités d'œuvre, grandeurs physiques inductrices des coûts finalement calculés et annualisés par le *module de coûts*. Cette modélisation est effectuée en distinguant trois zones : les zones très denses (ZTD), les zones moins denses d'initiative privée (ZMD-privée) et les zones moins denses d'initiative publique (ZMD-publique).

⁸ Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. Other names may be trademarks of their respective owners (traduction de courtoisie : « Oracle et Java sont des marques déposées d'Oracle et/ou de ses filiales. Les autres noms peuvent être des marques commerciales de leurs propriétaires respectifs »)

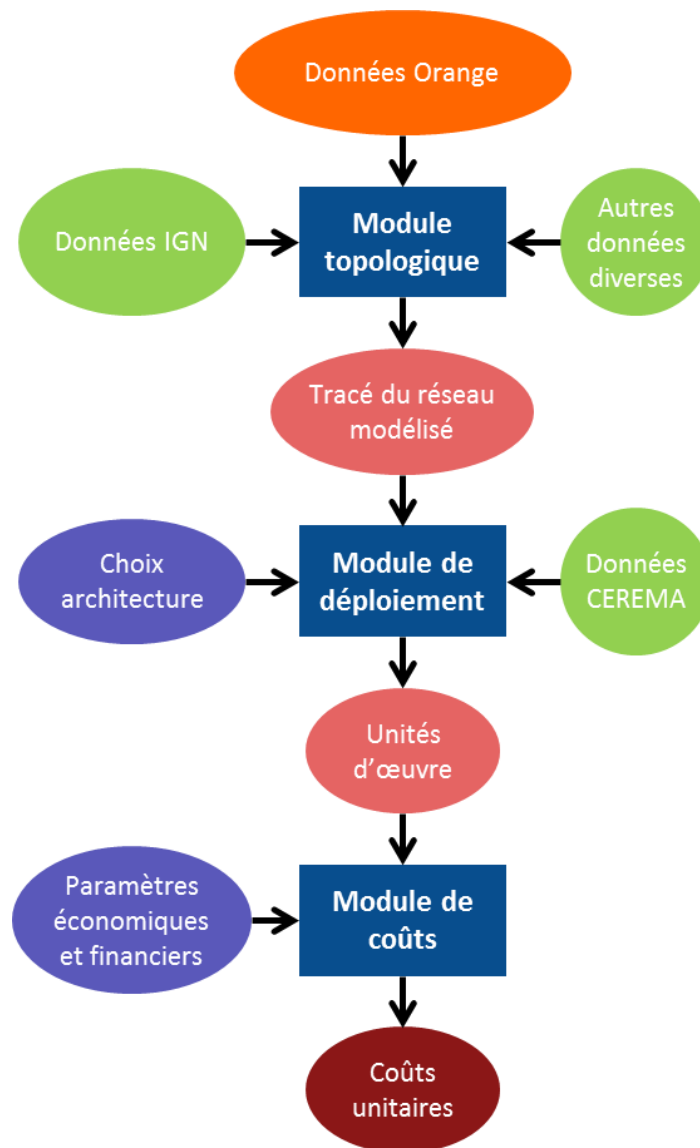


Figure 2 : schéma général de fonctionnement du modèle

3.1.1 Les principaux enjeux du module topologique

Le but du module topologique est de fournir au module de déploiement un tracé de réseau d'accès NRO par NRO, aux nœuds desquels figure déjà l'essentiel de la demande locale⁹. Il est donc nécessaire de faire en amont un certain nombre de choix structurants pour l'ensemble du modèle :

- quelle(s) source(s) utiliser pour obtenir une demande en accès fixe géolocalisée et répartie de manière réaliste sur le territoire ?
- quels réseaux existants réutiliser pour déterminer le tracé du nouveau réseau ?
- où placer les NRO ?

⁹ C'est-à-dire le nombre de lignes qui se branchent sur le réseau au nœud considéré. Dans la modélisation présentée, un nœud dont la demande locale est strictement positive porte un PBO.

a) Géolocalisation de la demande : placement des points de branchement optiques aux emplacements des points de concentration du réseau cuivre

Il existe plusieurs sources différentes qui pourraient permettre d'obtenir une demande géolocalisée en accès fixe : base adresse nationale, bases de données diverses de l'Institut géographique national (IGN), base de données du Service National de l'Adresse, bases de données commercialisées par des prestataires privés, etc. Comme évoqué en section 2.3, le choix a été fait d'utiliser les PC du réseau cuivre d'Orange pour obtenir la demande géolocalisée, et de placer les PBO du nouveau réseau précisément à l'emplacement des PC. Cette démarche permet d'obtenir une frontière simple entre la distribution et le raccordement final (qui n'entre pas dans le champ du présent modèle) et d'éviter de devoir mettre en place un algorithme de placement des PBO dont le principe ne serait pas évident. Par ailleurs, les PC du réseau cuivre présentent l'avantage de rendre compte de la superposition des lignes utilisées tant par les clients résidentiels que par les clients non résidentiels.

Cependant, la demande cible du réseau modélisé n'a aucune raison d'être identique au nombre de lignes principales du réseau cuivre d'Orange : le module de déploiement (décrit ci-après) donne donc la possibilité de fixer une demande cible par zone.

Les données d'entrées du module topologique sont décrites en détail à la section 3.3.1b).

b) Utilisation des tracés des infrastructures de génie civil d'Orange et du réseau routier

Comme évoqué en sections 2.1 et 2.3 le réseau modélisé réutilise autant que faire se peut les infrastructures de génie civil existantes, et à défaut le réseau routier. Le modèle utilisera donc ces deux sources en tant que données d'entrée ; en revanche, comme les fichiers de génie civil d'Orange n'ont pas été conçus pour une utilisation en modélisation mais pour une utilisation opérationnelle, des incohérences sont apparues qui ont conduit l'Autorité à adopter, à ce stade, une stratégie dégradée de modélisation. Le tracé des réseaux est actuellement réalisé le long des réseaux routiers tandis que les différents types de génie civil existant sont comptabilisés sur chaque zone arrière de NRO. Lors du module de déploiement, un algorithme dit de « coloriage » permet d'associer un type de génie civil à chaque arête du réseau de manière cohérente avec la comptabilisation effectuée. L'Autorité espère, à l'avenir, pouvoir utiliser le tracé réel des réseaux de génie civil à la place de la solution dégradée de « coloriage ».

Les acteurs souhaitant s'exprimer sur les algorithmes de détermination du tracé des réseaux (en version « coloriage » et en utilisation du tracé réel de génie civil) sont invités à consulter la description plus détaillée de l'algorithme en section 3.3.5 et à répondre à la question 6.

c) Les nœuds de raccordement optiques, une sélection de nœuds de raccordement d'abonnés

Bien que certains opérateurs fassent en pratique le choix de ne pas toujours co-localiser leurs NRO au niveau des NRA du réseau cuivre d'Orange, comme évoqué en section 2.3 plusieurs raisons ont conduit l'Autorité à placer les NRO du réseau modélisé parmi les NRA du réseau cuivre :

- l'utilisation de ce modèle pour la tarification du dégroupage, service caractérisé entre autres par ses points de livraison, rend pertinente la prise en compte des NRA ;
- l'incitation à réutiliser les infrastructures existantes¹⁰, qui conduit à réutiliser les infrastructures de génie civil, commande également de réutiliser autant que possible les NRA existants ;

¹⁰ Dans les zones moins denses d'initiative publique, les opérateurs de RIP ont même l'obligation de tenir compte des investissements déjà réalisés, conformément au considérant 45 de la décision SA. 37183 « Plan France très haut débit » de la Commission européenne ou au point 80(a) des Lignes directrices de l'Union européenne pour l'application des règles relatives aux aides d'État dans le cadre du déploiement rapide des réseaux de communication à haut débit (2013/C 25/01).

- les PC du réseau cuivre utilisés pour la demande géolocalisée sont naturellement reliés à un NRA ;
- sélectionner des NRO parmi les NRA existants est algorithmiquement plus simple que de les sélectionner parmi n'importe quel point du réseau.

La complexité de l'algorithme qui détermine le tracé physique des réseaux en associant demande géolocalisée et réseaux physiques est élevée. Pour limiter le temps de calcul et la mémoire vive nécessaire, le choix a été fait de sélectionner les NRO en amont de cet algorithme.

La sélection des NRO parmi les NRA du réseau cuivre d'Orange s'effectue suivant les principes suivants :

- le but est d'obtenir dans la très grande majorité des cas des NRO de plus de 1 000 lignes ;
- toutes les lignes dépendant d'un NRA et situées dans la même zone relèveront du même NRO, il s'agit donc uniquement de désigner un NRO pour chaque NRA (et chaque zone le cas échéant) ;
- « regrouper » un NRA avec un NRO trop éloigné risquerait de créer des lignes trop longues ;
- en raison du choix effectué pour le séquençement des algorithmes, il n'est pas possible d'utiliser les longueurs réelles des lignes NRO-PBO qui ne sont pas connues à ce stade de l'exécution du modèle ;
- imposer une distance maximale entre NRA « regroupé » et NRO suffit toutefois à éliminer les cas pathologiques ;
- il convient d'effectuer le regroupement des NRA zone par zone pour obtenir des résultats par zone indépendants les uns des autres.

Au regard de ces principes, et en s'appuyant sur le réseau de collecte existant d'Orange, l'algorithme regroupe les NRA en partant des NRA les plus en aval dans le graphe de collecte et desservant le moins de lignes pour « remonter » dans le réseau, tant que le seuil de 1 000 lignes n'est pas atteint. Toutefois, la distance entre le NRA regroupé et le NRO ne peut pas être supérieure à un plafond donné, que l'Autorité envisage de fixer à 15 km.

L'algorithme de sélection des NRO conduit à environ 7 500 NRO sur toute la France métropolitaine ; les acteurs souhaitant s'exprimer sur cet algorithme et le plafond de 15 km choisi par l'Autorité sont invités à consulter la description plus détaillée de l'algorithme en section 3.3.4 et à répondre à la Question 5.

La description détaillée de l'ensemble du module topologique est effectuée en section 3.3.

3.1.2 Les principaux enjeux du module de déploiement

Le but du module de déploiement est de calculer toutes les unités d'œuvre liées au réseau modélisé, c'est-à-dire les grandeurs correspondant à tous les éléments générateurs de coûts : nombre d'éléments de réseau, surface des NRO, longueurs totales de chaque type et calibre de câble, nombre d'immeubles et de logements pour estimer les coûts de la distribution verticale, nombre d'épissures, etc. Les principaux enjeux sont les suivants :

- le choix de la demande cible ;
- la structuration d'un tracé en boucle locale optique mutualisée ;
- le calcul des unités d'œuvre à proprement parler.

a) Le choix de la demande cible

Le modèle permet de choisir une demande cible par zone. Si la demande cible est supérieure à la demande existante (calculée à partir des lignes principales du réseau cuivre), l'algorithme

d'ajustement de la demande procèdera, tant que la demande cible n'est pas atteinte, au tirage au sort (avec remise) d'un PBO auquel ajouter une ligne. Si au contraire la demande cible est inférieure à la demande existante en sortie du module topologique, l'algorithme d'ajustement de la demande procèdera, tant que la demande cible n'est pas atteinte, au tirage au sort (avec remise) d'un PBO auquel retrancher une ligne.

Concernant la valeur de la demande cible, l'Autorité estime qu'il convient, dans l'esprit de la recommandation « *non-discrimination et méthodes de coûts* » précitée, de modéliser un réseau desservant l'ensemble de la demande en accès fixe, hors raccordement dédié pour client d'affaires. Elle utilise actuellement l'enquête « logements » de l'INSEE et les chiffres d'accès communiqués par les opérateurs pour estimer cette demande cible.

Tableau 1 : demande cible retenue par l'Autorité

Zone	Total France	ZTD	ZMD-privée	ZMD-publique
Demande cible	33,7 M	6 M	12,7 M	15 M

Les acteurs souhaitant s'exprimer sur la valeur de demande cible à retenir et sur le fonctionnement de l'algorithme d'ajustement de la demande sont invités à consulter la description plus détaillée de l'algorithme en section 3.4.3 et à répondre à la Question 7.

b) La structure de boucle locale optique mutualisée

Pour passer d'un tracé auquel est associée une demande à une boucle locale optique mutualisée, il faut créer une structure d'arbre dans laquelle chaque arête du réseau sait quelles sont ses arêtes « filles », puis placer des points de mutualisation sur le réseau, ce qui déterminera l'importance relative du segment de transport et du segment de distribution.

Dans le respect du cadre de régulation symétrique et en cohérence avec les recommandations de l'Autorité, la structure de la boucle locale optique mutualisée diffère selon les zones : en zones très denses, dans les poches de haute densité (ZTD-PHD, définies comme le complémentaire des poches de basse densité dans les zones très denses), la taille de référence des PM extérieurs est de 100 lignes et environ la moitié des lignes relèvent de PM dits « intérieurs » car placés à l'intérieur des immeubles ; en poches de basse densité des zones très denses (ZTD-PBD) et en zones moins denses, il n'y a pas de PM « intérieurs » et le nombre de lignes de référence pour les PM est de 300.

Le placement des PM extérieurs s'effectue suivant les principes suivants :

- le but est d'obtenir autant que faire se peut des PM correspondant au seuil « de base » prévu par la régulation ;
- cependant, il importe de placer les PM à proximité des logements : par exemple, placer deux PM de 250 lignes chacun au cœur d'un village peut être plus pertinent que de placer un PM de 500 lignes placé à l'intersection des routes qui y mènent, 3 km plus loin¹¹.

Pour cela, il est possible ici d'utiliser les longueurs réelles des lignes PM-PBO. Imposer à chaque étape une contrainte sur la médiane des longueurs PM-PBO semble exercer un effet suffisant sur l'ensemble de la distribution de ces lignes.

Ces principes conduisent au fonctionnement suivant : l'algorithme regroupe les PBO en partant des PBO les plus en aval et en « remontant » dans le réseau, tant que le seuil (100 ou 300 lignes suivant

¹¹ Ce cas de figure est permis par la décision n° 2010-1312 du 14 décembre 2010 de l'Arcep.

la zone) n'est pas atteint, sauf si cela conduit à poser un nouveau PM pour lequel la médiane des longueurs réelles PM-PBO est supérieure à un plafond donné, que l'Autorité envisage de fixer à 5 km.

L'algorithme de placement des PM extérieurs conduit à environ 105 000 PM extérieurs sur toute la France ; les acteurs souhaitant s'exprimer sur cet algorithme, ainsi que sur le plafond de 5 km choisi par l'Autorité, sont invités à consulter la description plus détaillée de l'algorithme en section 3.4.4 et à répondre à la question 8.

c) Le calcul des unités d'œuvre

Le calcul des unités d'œuvre n'est pas conceptuellement compliqué mais requiert un certain nombre d'hypothèses d'ingénierie qui sont détaillées dans la suite de cette partie :

- combien de fibres en amont d'un PM en fonction du nombre de lignes desservies ?
- comment choisir la taille des câbles dans les arêtes à partir du nombre de fibres y passant ?
- combien d'épissures effectuer lors de la séparation de câbles ?
- combien de lignes au maximum pour une armoire de PM300 ?
- comment dimensionner les NRO ?
- comment calculer les coûts de la partie verticale de la distribution ?
- quelle infrastructure physique construire en remplacement du génie civil en pleine terre ?
- etc.

Les acteurs souhaitant s'exprimer sur le choix de ces paramètres sont invités à consulter la section 3.4.5 et à répondre aux Question 9 à Question 13.

Le fonctionnement du module de déploiement et les paramètres choisis sont détaillés en section 3.4.

3.1.3 Les principaux enjeux du module de coûts

Le but du module de coûts est de passer des unités d'œuvre calculées par le module de déploiement au coût total mensuel par accès du réseau modélisé. Ce coût se décompose en :

- des coûts de patrimoine (égaux aux annuités des montants d'investissement) ;
- des coûts d'exploitation ;
- d'une quote-part des coûts communs de l'opérateur¹².

a) Calcul des coûts de patrimoine

Le module calcule d'abord les capitaux immobilisés en multipliant les unités d'œuvre issues du module de déploiement par les coûts unitaires des actifs. Ces masses de coûts sont ensuite annualisées selon la méthode des coûts de remplacement en filière pour calculer les annuités, puis divisées par le nombre de lignes pour obtenir l'annuité unitaire par ligne.

Les acteurs souhaitant s'exprimer sur le calcul des coûts de patrimoine, et en particulier sur les coûts unitaires des actifs, la méthode des coûts de remplacement en filière et les paramètres de celle-ci (durées de vie des actifs, taux de progrès technique des actifs, WACC¹³, inflation prévisionnelle) sont invités à consulter la section 3.5.1 et à répondre à la question 14 et à la question 15.

¹² L'Autorité tient à souligner que la modélisation effectuée vise à obtenir un résultat pertinent en termes de coûts globaux annuels, totaux et unitaires, nationaux et par grande zone de régulation. Une utilisation du modèle qui séparerait par exemple les coûts de patrimoine des coûts d'exploitation ou isolerait arbitrairement un élément des coûts de patrimoine n'aurait pas de validité sans analyse de cohérence complémentaire.

¹³ *Weighted average cost of capital*, ou taux de rémunération du capital

b) Calcul des coûts d'exploitation

Le module calcule les coûts d'exploitation du réseau modélisé selon une combinaison de modélisation ascendante, à partir de certaines unités d'œuvre, et descendante, à partir de données comptables. Ces modélisations s'appuient notamment sur des comparaisons internationales et sur la connaissance par l'Autorité d'éléments relatifs au réseau d'Orange. Pour les coûts modélisés de façon ascendante, des paramètres d'entrée doivent également être calibrés en amont. Parmi les coûts modélisés de façon descendante, le coût d'utilisation du génie civil d'Orange est basé sur le modèle réglementaire d'Orange.

Les acteurs souhaitant s'exprimer sur la modélisation des coûts d'exploitation et la valeur des paramètres retenus sont invités à consulter la section 3.5.2 et à répondre aux question 16 à question 20.

3.2 Introduction à la description détaillée

3.2.1 Schéma global de fonctionnement

Les sections 3.3, 3.4 et 3.5 fournissent une description détaillée du modèle, en abordant successivement le module topologique, le module de déploiement et le module de coûts. Les parties les plus techniques des sections 3.3 et 3.4 doivent être comprises comme un accompagnement à la lecture du code source Java™.¹⁴

Cette description s'accompagne de schémas partageant la légende commune suivante :

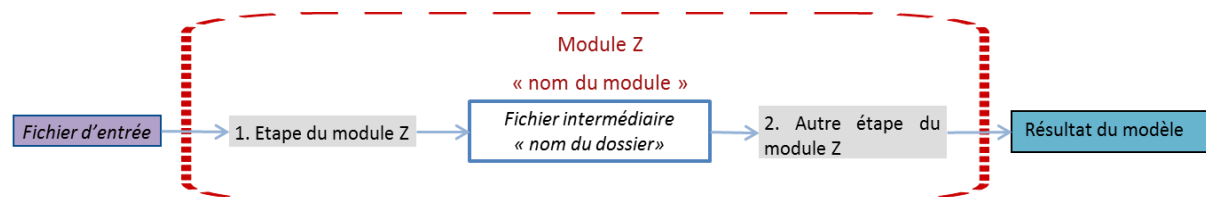


Figure 3 : légende des schémas détaillés

Pour la description technique détaillée, le module topologique est divisé en trois sous-modules, ce qui fait que le schéma ci-dessous comporte 5 modules libellés de A à E :

- les modules A, B et C forment le module topologique (section 3.3) ;
- le module D correspond au module de déploiement (section 3.4) ;
- le module E correspond au module de coûts (section 3.5).

Les modules A à D forment l'ensemble du code Java™ mis en consultation publique, tandis que le module E est un fichier Excel.

¹⁴ Notamment les sections 3.3.2, 3.4.2 ainsi que les sous-sections b) des sections 3.3.4, 3.3.5, 3.4.3, 3.4.4 et 3.4.5.

Le schéma global de fonctionnement du modèle sous ce format est le suivant :

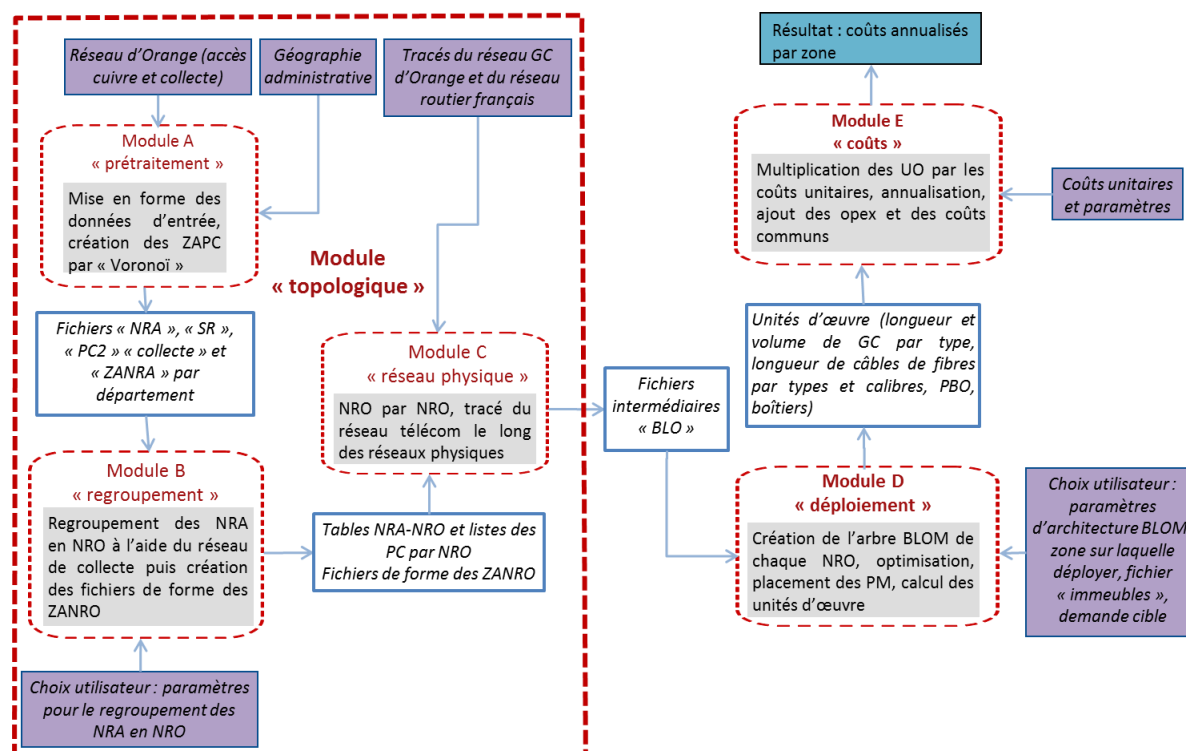


Figure 4 : schéma complet du modèle

3.2.2 L'utilisation du modèle en pratique

a) Les modules codés en Java™

Les modules A, B C et D sont codés dans un unique programme (*package*) Java™ rassemblant 25 fichiers sources .java (et deux fichiers .form pour l'interface utilisateur), qui sont compilés puis exécutés. L'exécution déclenche la création et l'affichage d'une fenêtre d'interface avec l'utilisateur dotée de champs textuels et de boutons cliquables, permettant ainsi à l'utilisateur du modèle d'effectuer divers choix de paramètres avant de lancer les différentes étapes du module topologique et le module de déploiement.

b) Le tableur du module de coûts

Le module de coûts, quant à lui, est un tableur Excel. L'utilisateur peut copier-coller dans un onglet de celui-ci le fichier de résultat approprié du module de déploiement et modifier les valeurs des paramètres économico-financiers propres à ce module (coûts unitaires, durées de vie et taux de progrès techniques des actifs, WACC, inflation prévisionnelle, etc.).

3.2.3 L'organisation technique du code Java™

Un programme Java™ est un ensemble de fichiers Java™ qui décrivent des classes.

Toutes ces classes contiennent des champs et des méthodes. Certaines d'entre elles ont vocation à être utilisées *dynamiquement*, c'est-à-dire que le programme créera un ou plusieurs objets

possédant chacun les champs et méthodes définis par la classe¹⁵, alors que d'autres ont vocation à être utilisées *statiquement*, sans instantiation¹⁶. Huit classes contiennent au moins une méthode statique, dont trois d'entre elles utilisées uniquement de cette manière (les classes `Main`, `ModuleTopo` et `Shapefiles`).

Lors de la description détaillée, le lien sera fait entre les étapes schématiques du modèle et les classes qui permettent de les effectuer grâce à leurs méthodes. Par convention, pour faciliter la lecture des parties les plus techniques :

- les noms de classe et de leurs instances sont en police `Courier New` et commencent par une majuscule ;
- les noms des champs et méthodes des classes sont en police `Courier New` et commencent par une minuscule ;
- les méthodes sont toujours suivies de parenthèses ; celles-ci contiennent éventuellement un ou plusieurs noms décrivant synthétiquement tout ou partie de leurs arguments, sans prétendre à une exhaustivité qui serait fastidieuse.

La classe `Main` sert uniquement par sa méthode `main(String args[])` qui crée une instance de la classe `FenPrincipale`, laquelle définit la fenêtre d'interface avec l'utilisateur décrite ci-dessus. C'est depuis cette classe que sont lancées les différentes étapes du module topologique et le module de déploiement ; pour ce faire elle pilote aussi une instance de la classe `Parametres`, utilisée pour stocker tous les paramètres techniques du modèle, et passée en argument d'un grand nombre de constructeurs et de méthodes.

Le code Java™ publié est la version à jour à date de publication de la modélisation telle que développée par l'Arcep. Certaines méthodes et classes ne sont pas décrites dans la consultation publique car ce sont des éléments annexes : par exemple, les classes `Couts` et `CoutsUnitaires` permettent, combinées avec la classe `UO`, de calculer directement les coûts d'investissement en Java™, mais l'Autorité a souhaité, dans un but de transparence accrue, opérer l'intégralité du traitement économique-financier dans le tableur Excel du module de coûts.

¹⁵ Ces objets sont appelés des *instances* de la classe ; on dit aussi que la classe est *instanciée* et on parle de *l'instanciation* d'une classe.

¹⁶ Leurs champs et méthodes sont alors préfixés par le mot-clé « *static* » dans le code source.

3.3 Module topologique : la détermination du tracé

3.3.1 Description générale

a) But

Le but du module topologique est d'obtenir le tracé du réseau modélisé, c'est-à-dire :

- le réseau physique sous forme de nœuds géolocalisés et d'arêtes reliant ces nœuds dont la longueur réelle a été calculée ;
- l'identification, parmi ces nœuds, de ceux qui seront les NRO du réseau ;
- l'identification, parmi ces nœuds, de ceux dont la demande locale est strictement positive, la valeur de cette demande, et le plus court chemin vers le nœud « NRO » dont ils dépendent.

b) Données d'entrée

Pour ce faire, le modèle utilise un nombre important de données d'entrée, pour certaines très volumineuses :

- concernant la boucle locale cuivre d'Orange :
 - o un fichier répertoriant l'identifiant et les coordonnées de tous les NRA ;
 - o un fichier répertoriant l'identifiant propre, l'identifiant du NRA correspondant et les coordonnées de tous les sous-répartiteurs de 1^{er} niveau, tels qu'identifiés par Orange ;
 - o un fichier extrait de la base de données sous-jacente à l'application 42C, regroupant, pour toutes les lignes principales, identifiant du NRA, identifiant du SR, identifiant du PC, coordonnées du PC, code géographique (INSEE) de la commune du PC ;
- concernant le réseau de collecte d'Orange, un fichier listant les relations directionnelles amont-aval entre NRA et un fichier listant les liens de collecte optique entre NRA ;
- concernant le réseau de génie civil d'Orange, l'équivalent des fichiers de plans d'itinéraires (PIT), permettant de restituer l'ensemble du réseau de génie civil d'Orange, arête par arête, dans un système d'information géographique ;
- concernant le réseau routier, le thème « Routes » de la base de données « TOPO » (« BD TOPO ») de l'IGN ;
- concernant la géographie administrative, les fichiers de limites départementales publiés par l'IGN (base de données « GEOFLA ») ;
- concernant les zones de régulation (telles que définies par la réglementation en vigueur et les intentions de déploiement des opérateurs) :
 - o un fichier contenant pour chaque code INSEE les valeurs des variables binaires « fait partie des zones très denses » et « fait partie de la zone d'initiative privée des zones moins denses »
 - o des fichiers géographiques donnant les délimitations des poches de basse densité des zones très denses et de la zone d'initiative privée des zones moins denses.

Ces données d'entrée étant pour l'essentiel de nature confidentielle ou commerciale, elles ne sont pas publiées par l'Autorité.

c) Données de sortie

Les fichiers de sortie du module topologique sont des fichiers intermédiaires utilisés par le module de déploiement : outre la table de correspondance NRA-NRO produite au cours du module B qui est utilisée dans le module de déploiement uniquement pour la modélisation de la partie verticale de la

distribution, le module de déploiement utilise uniquement les fichiers dits « BLO » qui sont le résultat du module C. Ces fichiers sont au nombre de trois par NRO :

- un fichier « Arêtes » contient pour toutes les arêtes faisant partie du réseau du NRO : son identifiant, les identifiants des deux nœuds extrémités, son type initial de génie civil, longueur physique, le nombre et les coordonnées des points intermédiaires ;
- un fichier « Nœuds » dont la première ligne donne l'identifiant du nœud « NRO » puis pour chaque nœud du réseau : son identifiant, ses coordonnées, sa demande locale, et si celle-ci est strictement positive le nombre d'arêtes le long du chemin NRO-nœud et leurs identifiants ;
- un fichier « ModesPose » qui contient les pourcentages des 11 types de génie civil défini dans les fichiers de forme d'Orange.

Le stockage de toutes ces informations intermédiaires, quoique très lourd, permet de ne plus avoir à faire de calcul du type « quel est le chemin ou la distance entre un point du réseau et le NRO ? » : le module de déploiement pourra bâtir sans difficulté un arbre orienté dont la racine sera le NRO et parcourir cet arbre pour effectuer tous ses calculs.

d) Fonctionnement schématique

La description du fonctionnement de ce module est faite ci-dessous en parcourant successivement les trois sous-modules A, B et C (cf. la figure 4 en section 3.2.1). Le module A est essentiellement un module de prétraitement des données et ne présente pas d'enjeu particulier. Le module B a pour fonction le choix des NRO qui serviront d'éléments de référence dans toute la suite du modèle ; cet algorithme est abordé en section 3.3.4. Enfin, le module C effectue le tracé du réseau à proprement parler, zone arrière de NRO par zone arrière de NRO (ZANRO).

e) Interface utilisateur

Comme l'illustre la capture d'écran ci-dessous, l'utilisateur du modèle doit cliquer successivement sur 6 boutons pour faire fonctionner dans son intégralité le module topologique :

The screenshot displays the 'Module topologique' interface, organized into three distinct sections separated by dashed red borders:

- Module A « prétraitement des données »**: Contains three buttons: 'Préparation shapes (départements, zonage)', 'Préparation des fichiers du réseau cuivre', and 'Création des shapefiles des ZANRA'. A fourth button, 'Pré-traitement réseau de collecte', is located to the right of the first two.
- Module B « regroupement »**: Features two input fields: 'Nombre minimal de lignes pour un NRO : 1000' and 'Distance maximale NRO-NRA (km) : 15'. A single button at the bottom reads 'Regroupement des NRA en NRO et création des shapefiles des ZANRO'.
- Module C « réseaux physiques »**: Includes two input fields: 'Tolérance pour l'accrochage des noeuds du graphe : 3 mètres' and 'Tolérance de distance max. pour être raccordé au GC : 15 mètres'. Below these are two checkboxes: 'Charger les réseaux des départements limitrophes' (checked) and 'Utiliser le GC Orange directement' (unchecked). A final button at the bottom states 'Module topo et sortie des fichiers intermédiaires "BLO"'. The text 'Module C « réseaux physiques »' is positioned to the right of the input fields.

Figure 5 : l'onglet "Module topologique" de la fenêtre d'interface

3.3.2 Fonctionnement technique global

Un clic sur chacun des boutons ci-dessus assure la prise en compte des valeurs des paramètres entrés dans les cases placées immédiatement au-dessus et l'appel à une unique méthode statique de la classe `ModuleTopo`. Les sections suivantes détaillent ces appels pour chaque module. En pratique, la classe `ModuleTopo` assure les manipulations de fichiers « simples » (format csv) et renvoie systématiquement à une ou plusieurs méthodes statiques de la classe `Shapefiles` dès qu'une étape du modèle doit manipuler un fichier de forme (*shapefile*).

3.3.3 Le prétraitement des données

Le schéma ci-dessous décrit les différentes étapes du prétraitement des données :

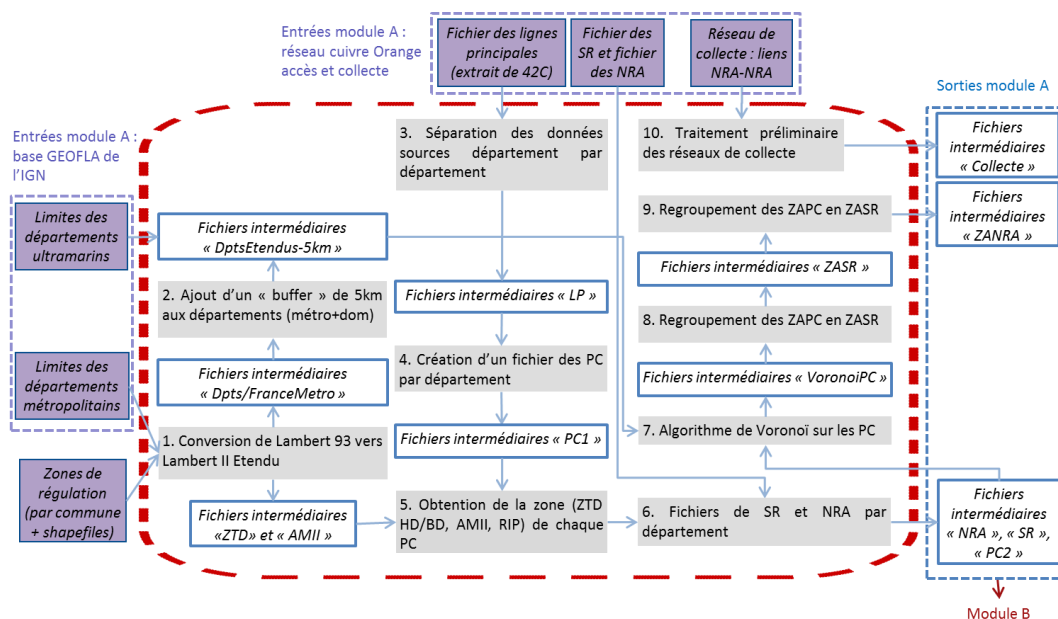


Figure 6 : schéma du module A (prétraitement des données)

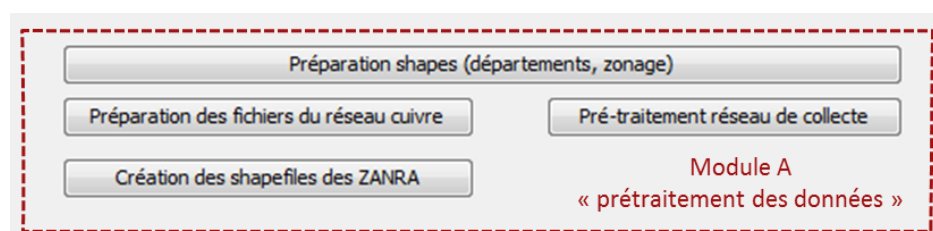


Figure 7 : interface utilisateur du module de prétraitement des données

Le premier bouton appelle la méthode `pretraitementShapes()` de la classe `ModuleTopo` qui effectue les étapes 1 et 2 du schéma ci-dessus. Le bouton « Préparation des fichiers du réseau cuivre » appelle la méthode `pretraitementReseauCuivre()` de la classe `ModuleTopo`, qui exécute les étapes 3 à 6 du schéma ci-dessus. Le bouton « Création des shapefiles des ZANRA » appelle la méthode `createZAPCSRNRA()`, qui effectue les étapes 7 à 9. Enfin, le bouton « Pré-traitement réseau de collecte » appelle la méthode `pretraitementCollecte()`, toujours de la classe `ModuleTopo`, qui effectue l'étape 10.

Ces 4 boutons correspondent aux 4 sous-sections ci-dessous.

a) Etapes 1 et 2 : préparation des fichiers de forme

i. Conversion

Tous les fichiers de forme (*shapefiles*) en entrée du modèle n'utilisent pas le même système géographique de référence pour les départements métropolitains : les fichiers fournis par Orange utilisent la projection dite « Lambert II Etendu » tandis que les fichiers IGN utilisent la projection dite

« Lambert 93 ». Il est donc nécessaire de convertir l'ensemble des fichiers de forme dans un système de référence unique avant leur utilisation combinée¹⁷. Cette conversion est effectuée par la fonction `conversion()` de la classe `Shapefiles`, appelée successivement pour chaque fichier à convertir par la fonction `pretraitementShapes()` de `ModuleTopo()`.

ii. Mise en place d'un « *buffer* »

Lors de cette étape, on ajoute une « zone tampon » ou « *buffer* » de 5 km autour des limites des départements dans les fichiers de forme correspondants : en effet, ces limites serviront d'enveloppe au moment d'appliquer l'algorithme de Voronoï sur les PC de chaque département (cf. le c)) de la présente section). Le regroupement des « zones arrière de PC » (ZAPC) ainsi obtenues en zones arrière de NRO (après le choix des NRO au module B) sert ensuite au module C pour charger les réseaux physiques de génie civil et des routes aux départements, sur le périmètre de chaque NRO pour limiter la complexité (cf. section 3.1.1). Comme un certain nombre de PC proches des frontières entre deux départements sont associés à un NRA qui n'est pas dans leur département, il est apparu nécessaire de déterminer ces ZANRO de manière souple, en particulier pour les NRO proches des limites de leur département.

b) Etapes 3 à 6 : préparation des fichiers représentant le réseau d'accès cuivre

Dans un premier temps, la base de données nationale des lignes principales est simplement filtrée par département.

Ensuite les lignes principales ayant le même identifiant de PC sont agrégées en un seul objet ayant plusieurs lignes.

Chaque PC, à l'aide du code géographique INSEE de la commune existant dans la base 42C, est placé en zones très denses, zones moins denses d'initiative privée ou zones moins denses d'initiative publique. En cas de code erroné, on utilise les coordonnées du PC et les fichiers de forme des zones (établis en interne par l'Autorité) pour retrouver à quelle zone appartient le PC, de même que pour distinguer entre les poches de haute et de basse densité des zones très denses (en effet, ces poches sont définies sur la base des îlots IRIS de l'INSEE, soit à une échelle infra-communale).

Les fichiers nationaux décrivant les NRA et les SR sont également filtrés par départements.

c) Etapes 7 à 9 : Création des zones arrière de NRA

Le but de cette étape est d'obtenir des fichiers de forme représentant les zones arrière de NRA (ZANRA). Pour se faire, le principe est de simuler les zones arrière de PC (ZAPC) puis de les fusionner en zones arrière de SR (ZASR) et enfin en zones arrière de NRA. Même si la limite des zones entre deux PC est placée arbitrairement à égale distance de deux d'entre eux, on obtiendra un résultat très réaliste à l'échelle des NRA.

i. Simulation des ZAPC grâce aux diagrammes de Voronoï

Pour simuler les ZAPC, le plus simple est d'attribuer chaque point du territoire au PC dont il est le plus proche. Ce découpage du plan est un diagramme de Voronoï dont les PC sont les « germes » et les ZAPC les polygones de Voronoï. Concrètement, en fournissant à l'algorithme fourni par la bibliothèque open source JTS Topology Suite dans sa classe `VoronoiDiagramBuilder` les coordonnées de tous les PC d'un département et la limite de ce département augmentée de la zone

¹⁷ Actuellement, tous les fichiers sont convertis en Lambert II Etendu, mais l'Autorité prévoit d'inverser très prochainement le sens des conversions afin d'utiliser la projection Lambert 93 qui fait référence en métropole conformément au décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 modifié par le décret n° 2006-272 du 3 mars 2006.

tampon de l'étape 2¹⁸, on obtient une liste de polygones qui forment des zones arrière de PC très satisfaisantes. En sortie d'algorithme, cette étape stocke les polygones obtenus dans des fichiers de forme en associant à chaque polygone l'identifiant du PC, du SR et du NRA correspondant.

ii. Passage des ZAPC aux ZANRA

Les polygones obtenus à l'étape précédente sont fusionnés à partir des identifiants pour obtenir les zones arrière de SR (ZASR) puis les zones arrière de NRA (ZANRA). À chaque étape, les fichiers de forme sont stockés.

d) Etape 10 : traitement préliminaire des réseaux de collecte

Cette étape consiste tout simplement à éclater le fichier national en fichier départementaux. Les instructions détaillées sont dans la méthode `separeCollecte()` de la classe `ModuleTopo`. La version du modèle décrite dans le présent document utilise uniquement les liens de collecte en fibre optique d'Orange ; dans une prochaine version, l'Autorité prévoit d'intégrer l'intégralité des liens de collecte.

3.3.4 Le regroupement des NRA en NRO

a) Description fonctionnelle

La section 3.1.1c) décrit le principe de l'algorithme de regroupement des NRA en NRO. Dans un souci de simplicité algorithmique, comme précisé en section 3.1.1, les emplacements possibles pour les NRO sont les NRA du réseau d'Orange et sont sélectionnés en amont du tracé des réseaux. Cette sélection s'effectue en s'appuyant sur le réseau de collecte d'Orange, en regroupant de petits (c'est-à-dire desservant peu de lignes) NRA en aval vers des NRA plus gros et plus en amont. Cette sélection s'effectue par département et par zone. Les étapes effectuées sont indiquées dans le schéma ci-dessous :

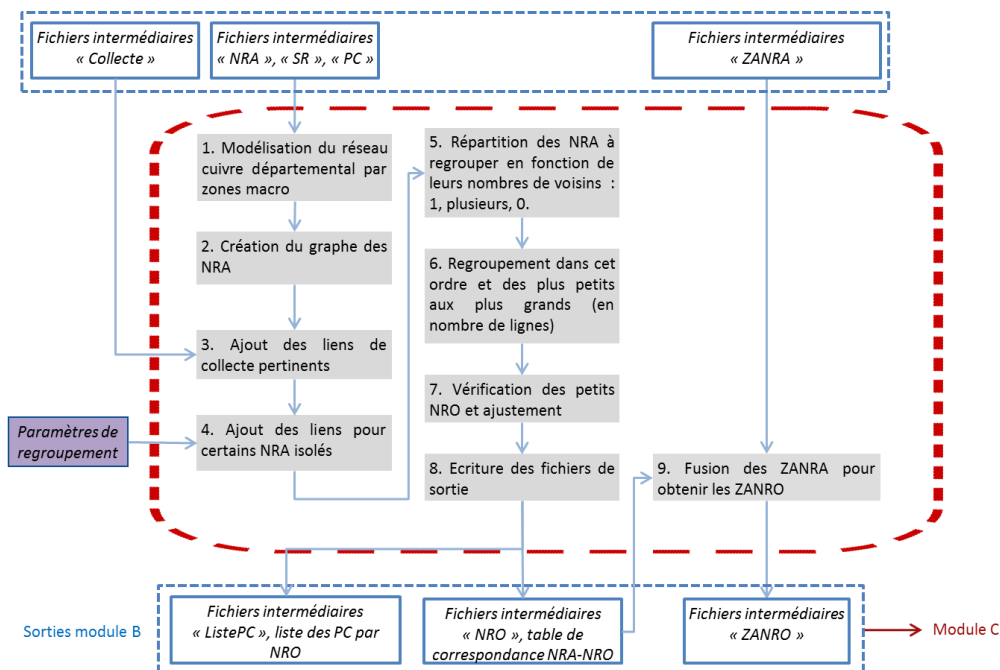


Figure 8 : schéma du module B (regroupement des NRA en NRO)

¹⁸ L'algorithme a besoin d'un polygone extérieur, appelé enveloppe, pour fournir en résultat une liste de polygones finis.

i. Etape 1 : modélisation du réseau d'accès cuivre

Pour modéliser le réseau cuivre d'un département à partir des fichiers sources, l'algorithme commence par charger les NRA et les SR tels qu'ils existent dans le réseau cuivre d'Orange. Il charge ensuite les PC en les rattachant au SR et au NRA correspondant. S'agissant des SR et NRA dont les PC correspondant appartiennent à différentes zones (parmi ZTD, ZMD-privée et ZMD-publique), on les duplique pour disposer d'un SR (ou NRA) dans chacune de ces zones, lesquels seront regroupés de manière indépendante par l'algorithme de regroupement des NRA en NRO. L'algorithme gère aussi les cas exceptionnels de collision entre des SR et NRA différents dans les fichiers sources mais dont les coordonnées seraient identiques, ainsi que de PC dont les identifiants du NRA ou du SR ne correspondraient à aucun objet existant.

Enfin, pour supprimer les PC dont les coordonnées sont mal renseignées ou rattachés par erreur à un mauvais NRA, l'algorithme vérifie que les PC ne sont pas distants (à vol d'oiseau) de plus de 10 km du NRA auxquels ils sont rattachés : sinon, ils sont exclus. Ceci supprime environ 0,1 % des PC et des lignes, situés pour l'essentiel en zones moins denses d'initiative publique. Ce plafond correspond à la longueur maximale théorique des lignes cuivre de 10 km, et la proportion de PC et de lignes supprimés semble raisonnable. Comme les points de branchements optiques (PBO) sont placés à l'emplacement des PC (cf. section 2.3), on peut aussi l'interpréter comme correspondant à la souplesse donnée à l'opérateur d'infrastructure de ne pas placer le PBO à proximité immédiate de certains logements très isolés¹⁹.

ii. Etapes 2 à 4 : création du graphe du réseau de collecte

La création du graphe représentant le réseau de collecte se fait suivant un principe simple :

- tous les NRA de la zone sont ajoutés au graphe ;
- les liens connus du réseau de collecte sont ajoutés au graphe ;
- pour chaque NRA de moins de 1 000 lignes et sans voisin dans le graphe de collecte à l'issue de cette étape, on crée pour chacun d'entre eux un lien avec le plus proche NRA à vol d'oiseau qui n'est pas leur voisin dans le graphe.

iii. Etapes 5 et 6 : regroupement le long du réseau

Le graphe obtenu est la plupart du temps non-connexe et contient de multiples cycles. Ce graphe n'ayant pas vocation à être optimisé pour être intégré au réseau mais à servir d'appui pour la sélection des NRO, la stratégie suivante est appliquée :

- trois files de priorité sont créées au sein desquelles les NRA à regrouper²⁰ sont classés en fonction de leur nombre de lignes (ceux ayant le moins de lignes sont traités en premier) : on distingue les NRA à regrouper ayant aucun, un ou plusieurs voisins dans le graphe de collecte²¹.
- « regrouper » un NRA consiste à trouver le NRA voisin le plus pertinent, qu'on désigne comme son NRO (sous réserve d'une distance à vol d'oiseau inférieure au plafond de 15 km

¹⁹ Conformément à la recommandation de l'Arcep du 7 décembre 2015 sur la mise en œuvre de l'obligation de complétude des déploiements des réseaux en fibre optique jusqu'à l'abonné en dehors des zones très denses

²⁰ Les NRA à regrouper sont ceux desservant moins de 1 000 lignes.

²¹ La file des NRA à regrouper sans voisin est vide initialement.

mentionné en 3.1.1c)²² ; le NRA « regroupé » est alors supprimé du graphe et ses voisins autres que le NRO choisi deviennent voisins du NRO ; la position de ses anciens voisins dans les files de priorité est également actualisée²³ ;

- pour cela, la file des NRA à un unique voisin est traitée en priorité : le choix du NRO est simple, les éléments initiaux de cette liste sont des « feuilles » du graphe et cela permet par itération de remonter les « chaînes de NRA » ; à l'issue de cette étape restent d'éventuels NRA isolés et des NRA à plusieurs voisins, ceux-ci faisant nécessairement partie d'au moins un cycle dans le graphe de collecte ;
- on traite ensuite les NRA à plusieurs voisins en choisissant comme NRO le NRA le plus proche²⁴ parmi les différents voisins : chaque NRA regroupé pouvant donner lieu à des NRA à regrouper à un voisin, on traite à nouveau leur file à chaque étape ;
- puis sont traités les NRA restants dans la file des NRA à regrouper (ceux qui ont été désignés NRO d'une composante connexe du graphe de collecte dont les NRA desservait tous ensembles moins de 1 000 lignes) ;
- enfin, tous les NRA restants dans le graphe sont par définition des NRO dont certains font moins de 1 000 lignes si aucun NRA n'était assez proche (cf. ii).

iv. Etape 7 : ajustement complémentaire pour les petits NRO

Pour éliminer les « cas pathologiques »²⁵, on vérifie pour tous les NRO ne respectant pas le plancher de 1 000 lignes s'il existe un NRA ayant le même identifiant dans une autre zone. Si tel est le cas et que le NRO de regroupement de ce NRA contient plus de lignes que le NRO « fautif », celui-ci est supprimé et les lignes correspondantes sont rattachées à son équivalent de l'autre zone.

v. Etapes 8 et 9 : création des fichiers de sortie et des ZANRO

Le regroupement est stocké en créant pour chaque zone et département un fichier récapitulatif donnant la correspondance NRA-NRO, ainsi qu'un fichier par NRO listant l'ensemble des points de concentration desservis post-regroupement et leurs caractéristiques. La table de correspondance permet ensuite de fusionner les ZANRA créées lors du module de prétraitement en ZANRO enregistrées dans les fichiers de forme appropriés. Les fichiers de PC, NRO par NRO, serviront à l'étape de tracé du réseau (module C).

vi. Sensibilités

Cet algorithme a essentiellement deux paramètres : le nombre minimal de lignes par NRO, fixé à 1 000, et la distance maximum de regroupement NRA-NRO. L'Autorité n'envisage pas de faire évoluer le premier (qui correspond à la réglementation) et a retenu la distance de 15 km pour le second. Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'algorithme en termes de nombre de NRO par zone pour différentes valeurs de ce plafond. On constate comme attendu que le nombre de NRO

²² Dans l'idéal, il faudrait calculer cette distance comme la distance réelle du lien de collecte ou la distance le long du réseau routier entre les deux NRA ; ce plafond existant surtout pour prévenir les « cas pathologiques », l'Autorité n'a pas estimé nécessaire de complexifier l'algorithme à ce stade, mais il serait possible de le faire dans une version ultérieure.

²³ En effet, la réorganisation du graphe peut entraîner un changement du nombre de voisins pour les anciens voisins du nœud supprimé ; de plus le nœud voisin qui a été désigné comme son NRO voit son nombre de lignes desservies augmenter : ces nœuds peuvent devoir changer de file de priorité ou de position au sein de leur file de priorité.

²⁴ Toujours selon la distance à vol d'oiseau.

²⁵ Typiquement, un « cas pathologique » est celui d'un NRA dont tous les PC auraient été déclarés dans une zone sauf quelques-uns dans une autre zone (cf. étape 1) et qui, se retrouvant isolé dans cette dernière zone, formerait tout seul au sein de celle-ci un NRO de quelques dizaines de lignes.

diminue au fur et à mesure de l'augmentation du plafond, et ce de plus en plus lentement. Le plafond de 15 km semble garantir un regroupement suffisant (en sortie de l'algorithme, environ 0,4% des lignes sont alors desservies par un NRO donnant accès à moins de 1 000 lignes) et, combiné à la distance maximale des lignes cuivres (environ 10 km), donne une longueur maximale de ligne optique raisonnable.

Tableau 2 : nombre de NRO par zone en fonction de la distance maximum NRO-NRA retenue

	Total France métropolitaine	ZTD	ZMD privée	ZMD publique
3 km	15 854	294	2 527	13 033
5 km	12 705	289	2 191	10 225
7,5 km	9 641	286	1 925	7 430
10 km	8 158	286	1 854	6 018
15 km	7 510	286	1 836	5 388
20 km	7 430	286	1 831	5 313
30 km	7 413	286	1 830	5 297

Question 5. Les principes de modélisation de la sélection des NRO vous paraissent-ils pertinents ? En particulier, en tenant compte le cas échéant du tableau de sensibilités présenté ci-dessus, quelle vous semble être la bonne valeur à retenir pour la distance maximale entre NRA regroupé et NRO utilisée dans cet algorithme ?

b) Description technique

Lors d'un clic sur le bouton permettant de lancer le regroupement des NRA en NRO (`jButton8` dans la classe `FenPrincipale`), l'objet `FenPrincipale` actualise les paramètres nécessaires puis appelle la méthode `regrouperNRANRO(parametres, distMaxNRONRA)` de son instance de `ModuleTopo`. Cette méthode définit et exécute un thread dont la partie principale est une boucle sur chaque département qui :

- construit une instance de la classe `ReseauCuivre` ;
- appelle ses méthodes de chargement des NRA, SR et PC ;
- appelle la méthode `checkPC(10000)` pour exclure les PC trop éloignés, avant et après avoir sauvegardé un état synthétique du réseau ;
- appelle la méthode `regrouperNRACollecte(parametres, adresseNRO)` ;
- supprime le fichier de forme des ZANRO s'il existait déjà.

En amont et en aval de la boucle se trouvent des instructions de gestion des dossiers et fichiers (entrées, sorties, analyses) et l'appel à la méthode statique `fusionShapes()` de la classe `Shapefiles` pour recréer les ZANRO.

La méthode `regrouperNRACollecte()` de la classe `ReseauCuivre` est celle qui pilote les principales étapes de l'algorithme de regroupement décrit ci-dessus. Le graphe de collecte est modélisé par un graphe simple valué dont les sommets sont les NRA et les arêtes les liens de collecte

et par un arbre de recherche à deux dimensions qui contient les NRA et leurs coordonnées. La méthode effectue successivement les appels à d'autres méthodes effectuant l'ajout des NRA dans le graphe (et dans l'index), la prise en compte des liens de collecte connus et l'ajout de liens complémentaires pour les NRA regroupables isolés.

Elle procède ensuite à l'initialisation des files de priorité, modélisées à l'aide de la classe `PriorityQueue` et d'un comparateur *ad hoc*, avant d'appeler les méthodes permettant le regroupement de chacune des files de priorité. Enfin, la méthode `verificationInterZone()` permet de faire la chasse aux « cas pathologiques » décrite plus haut et la méthode `store()` effectue l'écriture des fichiers de sortie intermédiaire.

3.3.5 Tracé du réseau : associer demande localisée et réseaux physiques

a) Problématique et description fonctionnelle

Le but de cet algorithme est de construire, pour chaque NRO, un réseau « optimal » permettant de relier le NRO à la demande localisée, matérialisée par l'ensemble des PC desservis par les NRA regroupés par ce NRO, en passant par les réseaux d'infrastructures physiques disponibles, à savoir le réseau de génie civil d'Orange et le réseau routier.

Ceci donne naissance à plusieurs problématiques :

- comment associer ou relier les PC du réseau cuivre au réseau d'infrastructures physiques (le nœud du réseau le plus proche du PC n'est en effet pas celui qui conduit nécessairement à la distance NRO-PBO minimale) ?
- comment traiter de manière différenciée les types de réseau (génie civil en conduite, pleine terre, aérien, nouveau génie civil à construire le long des routes) ?
- qu'est-ce qu'un réseau « optimal » ?

i. Association de la demande locale et des réseaux physiques

Vu la quantité de points à traiter, il semble compliqué de donner une solution théoriquement satisfaisante à la première question, d'autant plus que toute approche permettant d'ajouter des points au graphe fait jouer un rôle à l'ordre dans lequel les PC sont rattachés au graphe en tant que PBO. Calculer des distances aux arêtes et des projetés orthogonaux sur les arêtes les plus proches semble aussi devoir être exclu en raison des temps de calculs nécessaires (et ne garantit pas l'exactitude théorique). L'approche finalement retenue (décrite au b)) teste pour chaque PC du réseau cuivre les nœuds les plus proches au sein des réseaux physiques, et choisit parmi ceux-ci celui correspondant à la plus petite distance totale NRO-PBO. Pour limiter les risques de chemins non pertinents, la recherche des nœuds les plus proches du PC se fait au sein de l'ensemble des points intermédiaires décrivant le tracé des arêtes du réseau d'infrastructures physiques et pas seulement sur les extrémités des arêtes. Les calculs de plus court chemin se font en utilisant l'algorithme de Dijkstra.

ii. Traitement conjoint des différents types de réseau

Pour tenir compte de la possibilité de déployer dans le réseau de génie civil d'Orange, de la nécessité de reconstruire du génie civil lorsque celui-ci a été construit en pleine terre ou que les infrastructures souterraines et aériennes réutilisables sont endommagées, ainsi que de la possibilité d'utiliser des infrastructures tierces (poteaux Enedis, génie civil des collectivités, etc.) et d'en reconstruire le long des réseaux routiers, la modélisation *idéale* consisterait à regrouper tous les réseaux dans le même graphe en fusionnant les nœuds identiques (localisés au même endroit) et en pondérant les longueurs des arêtes par les coûts totaux d'utilisation au mètre linéaire (coût des études, coût de pose en fonction du type de génie civil, le cas échéant redevance récurrente ou achat d'un droit

d'utilisation à long terme). Une telle modélisation serait alors capable de calculer de manière endogène les taux optimaux d'utilisation de chaque type de génie civil et les coûts de reconstruction nécessaires.

Étant donné l'impossibilité d'obtenir des fichiers de forme cohérents au niveau national et des informations précises sur les coûts, et considérant aussi que la logique de réseau impose aussi de ne pas faire de détours rendant l'exploitation et le traitement de fautes absurdement complexes, une première approche simplifiée a consisté à utiliser uniquement le réseau de génie civil d'orange et le réseau routier avec les poids suivants :

- 1 pour le génie civil souterrain en conduite ;
- 1,5 pour le génie civil aérien ;
- 4 pour le génie civil souterrain en pleine terre et les réseaux routiers, pour lesquels il faut reconstruire une infrastructure.

Cependant, l'Autorité a constaté que la longueur totale des réseaux obtenue avec cette approche est supérieure à la longueur totale obtenue sans prendre en compte la possibilité d'utiliser le réseau de génie civil d'Orange (c'est-à-dire avec le seul réseau routier). Ce résultat contre-intuitif et *a priori* insatisfaisant semble dû à la structure des fichiers de forme du génie civil d'Orange²⁶.

En pratique, pour pallier cette difficulté et comme précisé en 3.1.1b), la solution finalement retenue à ce stade consiste à n'utiliser que le réseau routier pour déterminer le tracé du réseau (étapes 3, 4, 5 et 6), mais en calculant pour chaque ZANRO le pourcentage de chaque type de génie civil²⁷ indiqué dans les fichiers d'Orange (étape 7 du schéma). Ces pourcentages sont ensuite utilisés dans le module suivant pour déterminer à quel type de génie civil correspond chaque arête du réseau modélisé à partir du réseau routier²⁸. Néanmoins, une version ultérieure de la modélisation pourrait utiliser directement le tracé de génie civil d'Orange pour la détermination du tracé du réseau.

iii. Réseau optimal

Enfin, la caractérisation du réseau optimal au sens technico-économique est un problème théorique compliqué : en effet, le choix d'un tracé plutôt que d'un autre a des effets différenciés sur les coûts de fourniture des câbles, leurs coûts de pose, les coûts de boîtiers et d'épissures (en fonction du nombre d'intersections et de la capacité à utiliser les mêmes câbles sur une plus ou moins grande distance), les coûts d'exploitation le long de la vie du réseau, etc. En l'absence d'algorithme astucieux évident, on pourrait tester tous les tracés de réseau possibles et retenir celui optimisant les coûts, mais le temps de calcul serait très déraisonnable, d'autant plus qu'il faudrait l'effectuer à nouveau pour tout changement de paramètre.

Si l'on souhaite pour simplifier le problème optimiser « simplement » la longueur totale des réseaux de chaque NRO, il faut alors trouver l'arbre minimal couvrant le sous-ensemble de nœuds du réseau

²⁶ Il semble que ce phénomène soit dû à la superposition de plusieurs arêtes dans les fichiers de forme d'Orange là où il ne devrait en exister qu'une seule, car l'algorithme de Dijkstra va dans la première approche (utilisation du réseau routier et du réseau de génie civil d'Orange) jusqu'à sélectionner le réseau routier en concurrence avec le réseau de génie civil, malgré la pénalisation du premier, à des endroits où les deux réseaux semblaient se superposer.

²⁷ Les 11 différents types de génie civil présents dans les fichiers de forme d'Orange sont les suivants : aérien Orange (0), aérien Enedis (1), façade (2), immeuble (3), pleine terre (4), caniveau (5), galerie (6), conduite allégée (7), égout (8), conduite enrobée (9), conduite mixte (10). Les types 0 à 2 correspondent à du génie civil aérien, tous les autres à part la pleine terre sont assimilés à du génie civil en conduite pour les besoins de la modélisation, sachant que parmi ceux-ci l'immense majorité des arêtes est de type 7 dans les fichiers fournis par Orange.

²⁸ Visuellement, on peut se représenter cela comme un « coloriage » des arêtes issues du tracé du réseau routier, les différents types de couleurs étant les différents types de génie civil indiqués dans les fichiers de génie civil d'Orange.

ayant une demande locale strictement positive ainsi que celui correspondant au NRO. Ce problème, connu en informatique comme le problème de l'arbre de Steiner dans un graphe, n'a pas de solution algorithmique connue en temps raisonnable²⁹, même si des approximations existent. Considérant que les réseaux physiques de génie civil et routiers, par leur structure, constituent déjà une bonne approximation d'arbre couvrant minimal et dans un souci de cohérence avec le rattachement des PC au réseau, il a été choisi de retenir comme tracé NRO-PBO le plus court chemin calculé lors du rattachement du PC et de ne pas optimiser davantage le graphe.

Au vu de cette analyse, l'algorithme de tracé du réseau effectue les étapes décrites par le schéma ci-dessous :

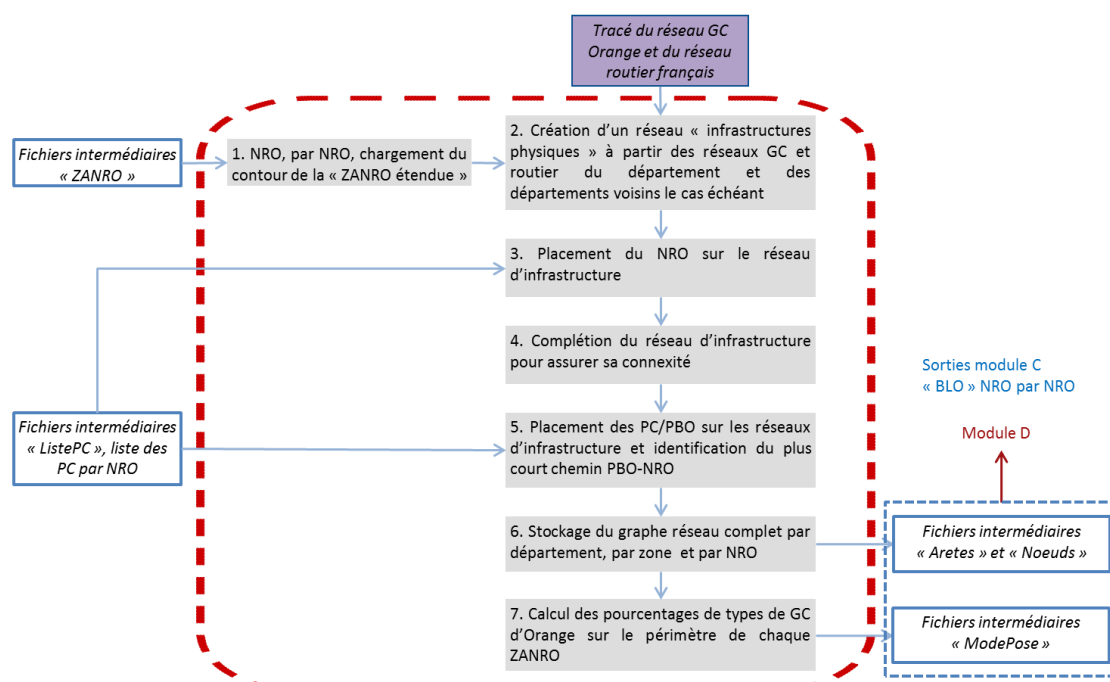


Figure 9 : schéma du module C (tracé du réseau)

À l'étape 1, le chargement des réseaux inclus dans la ZANRO « étendue » (calculée à partir des fichiers de département augmentés d'une zone tampon de 5 km) permet de considérer seulement la partie pertinente des réseaux du département du NRO, ainsi que des départements voisins si la ZANRO est frontalière d'autres départements. L'étape 2 crée le graphe unique mentionné *supra*. À l'étape 3, le NRO est placé au point du réseau d'infrastructures physiques le plus proche du NRA dont il est issu. Le réseau est rarement connexe au niveau d'une ZANRO, souvent du fait de petites coupures au sein des fichiers de forme : l'étape 4 ajoute les arêtes les plus petites possibles pour assurer la connexité du réseau, en partant de la composante connexe du NRO et en reliant le point le plus proche hors de celle-ci tant que le graphe représentant le réseau n'est pas connexe. L'étape 5 réalise le placement du PBO et le calcul du plus court chemin susmentionnés, tandis que l'étape 6 stocke le réseau ainsi tracé par département, par zone et par NRO. Enfin, l'étape 7 effectue le calcul des pourcentages de type de génie civil d'Orange nécessaires au « coloriage » ultérieur des arêtes du réseau.

²⁹ Ce problème d'optimisation fait partie de la catégorie des problèmes NP-difficiles ; en particulier, le problème de décision associé qui consiste à vérifier s'il existe un tel arbre minimal de poids total inférieur à un entier donné fait partie des 21 problèmes NP-complets de Karp (Richard M. Karp (1972). « Reducibility Among Combinatorial Problems »).

Question 6. Les principes de modélisation retenus pour le tracé du réseau vous paraissent-ils pertinents ? Sinon, quelles solutions alternatives proposez-vous ?

b) Description technique

La méthode `traceReseau()` de `ModuleTopo` crée simplement un thread initialisant la liste des départements choisis (tous, en pratique) puis appelle la méthode `preparerGraphes()` de la classe `Shapefiles`. Cette méthode, qui pilote les grandes étapes de l'algorithme, est structurée de la manière suivante :

- une boucle `for` par département contient une autre boucle `for` par zone (ZTD, ZMD-privée, ZMD-publique) pertinente pour chaque département ;
- à l'intérieur de cette boucle s'opère la lecture du fichier de forme décrivant toutes les ZANRO de ce couple (département, zone), en particulier sous la forme d'un objet de type `FeatureReader<SimpleFeatureType, SimpleFeature>` appelé `reader`. Chaque `feature` de ce `reader` correspond à une zone arrière de NRO ;
- pour chaque ZANRO sont exécutées les actions suivantes :
 - o lecture de l'objet géométrique à proprement parler (`Geometry`) ;
 - o création de l'objet de classe `Reseau` qui va servir à modéliser le réseau ;
 - o chargement des réseaux (de plusieurs types et de plusieurs départements le cas échéant) via la méthode `readShpreseau` ;
 - o étape de test intermédiaire avec la méthode `test()` de `Reseau` ;
 - o appel de la méthode `setCentre(coordonnesNRO)` de `Reseau` pour placer le NRO sur le réseau ;
 - o appel de la méthode `forceConnexite()` de `Reseau` pour assurer la connexité ;
 - o lecture des PC correspondant aux NRO (depuis le fichier intermédiaire produit lors du module B de regroupement des NRA en NRO) et ajout de ces PC un à un sur le réseau avec la méthode `addPC()` de `Reseau` ;
 - o appel de la méthode `store(adresseDestination)` de `Reseau` pour l'écriture des fichiers de sortie « Noeuds » et « Aretes » ;
 - o enfin appel de `computePourcentagesGC()` de `Shapefiles` pour calculer et stocker les pourcentages correspondant dans un fichier « ModesPose ».

La gestion du réseau à proprement parler est effectuée dans la classe `Reseau` et dans les classes `Arete`, `NoeudAGarder` et `NoeudInterne` qu'elle utilise intensément. Les principes de modélisation importants sont les suivants :

- il existe un unique graphe rassemblant toutes les arêtes ;
- mais plusieurs index de nœud (en pratique des arbres de recherche à deux dimensions permettant de trouver rapidement les nœuds les plus proches d'un couple de coordonnées) classés dans l'ordre de priorité suivant :
 - o les nœuds dont une arête est une arête de génie civil réutilisable du département ;
 - o les nœuds qui ne sont pas dans l'index précédent et dont au moins une arête est une arête de génie civil réutilisable d'un département voisin ;
 - o les nœuds qui ne sont pas dans les index précédents et dont au moins une arête est une arête du réseau routier du département ;
 - o les autres nœuds ;
- lors de la lecture d'une arête (méthode `loadLineString()`), elle-même et ses extrémités si elles n'y sont pas déjà sont ajoutées au graphe, mais tous les points intermédiaires

(modélisés par la classe `NoeudInterne`) de l'objet géométrique associé (de type `LineString`) sont ajoutés aux index pour plus de précision dans l'étape suivante ;

- lors de l'ajout d'un PC au graphe (méthode `addPC()`), on teste le point le plus proche des coordonnées du PC dans les différents index, on compare la longueur des chemins associés et on choisit le meilleur³⁰ ; si le point est un point intermédiaire d'arête on l'ajoute au graphe que l'on modifie en conséquence (il devient un `NoeudAGarder`) ;
- les calculs de plus court chemin dans le graphe se font par l'algorithme éponyme de Dijkstra, dans l'implémentation proposée par la classe `DijkstraShortestPath` de la bibliothèque `JGraphT` ;
- les méthodes statiques de la classe `Reseau` seront utilisés par le module de déploiement pour lire les fichiers créés par les appels successifs à sa méthode dynamique `store()` .

³⁰ Il existe des règles de préférence pour privilégier autant que faire se peut l'emploi du génie civil réutilisable mais nous ne détaillons pas celles-ci ici puisque ce n'est pas l'approche retenue pour la présente consultation publique.

3.4 Module de déploiement : calcul des unités d'œuvre

3.4.1 Description générale

a) But du module

Le but de ce module est de calculer toutes les unités d'œuvre (nombre des éléments de réseau, surface des NRO, longueur des câbles de fibre optique de chaque calibre et type de pose, etc.) génératrices de coûts.

b) Données d'entrée

La donnée d'entrée la plus importante du module de déploiement est constituée des fichiers intermédiaires générés par le module précédent. Ces fichiers intermédiaires ne sont pas communiqués : très détaillés, ils permettent de reconstituer des données d'entrée confidentielles ou commerciales.

Une deuxième entrée est un fichier appelé « immeubles.csv » donnant pour chaque NRA la distribution d'immeubles présents sur le périmètre de la zone arrière de NRA en fonction du nombre de logements de chacun d'entre eux. Ce fichier (non communiqué) a été produit hors modèle à partir de la base de données dite « Géolocaux » du CEREMA³¹, dont l'utilisation est par défaut réservée à des missions de service public.

Enfin, ce module permet à l'utilisateur du modèle de faire un certain nombre de choix d'architecture de déploiement (exemple : taille des points de mutualisation) ou de caractéristiques techniques du réseau (exemple : calibre minimal des câbles pour le déploiement horizontal en amont des points de branchement optique). Ces choix seront détaillés au fur et à mesure qu'ils interviennent dans les différentes étapes.

c) Données de sortie

La principale sortie du modèle est un fichier csv donnant l'ensemble des unités d'œuvre nécessaire au calcul des coûts, qui sera directement utilisé par le module de coûts.

³¹ « La BDD Géolocaux étant issue de l'hybridation des données du RGE et de MAJIC, son utilisation est par défaut soumise à la somme des obligations liées aux BDD sources. Son usage et sa diffusion doivent respecter à la fois les conditions d'utilisation du RGE et les termes de l'engagement CNIL du MEDDE relatif à l'usage des données MAJIC anonymisées. / En particulier, l'usage libre des données est réservé aux bénéficiaires du RGE dans le cadre de missions de service public (par exemple, diagnostics territoriaux nécessaires à la rédaction des documents de planification – SCOT, SDTAN, ...). Les missions à caractère industriel et commercial (par exemple toute opération liée au déploiement effectif des réseaux et leur exploitation) ne sont pas autorisées. Pour tout usage ne relevant pas du cadre établi par le RGE et l'engagement CNIL du MEDDE, l'IGN et la DGFIP devront être impérativement consultés. », Méthode –Base de données « Géolocaux », CEREMA, avril 2014, p.2

d) Fonctionnement schématique

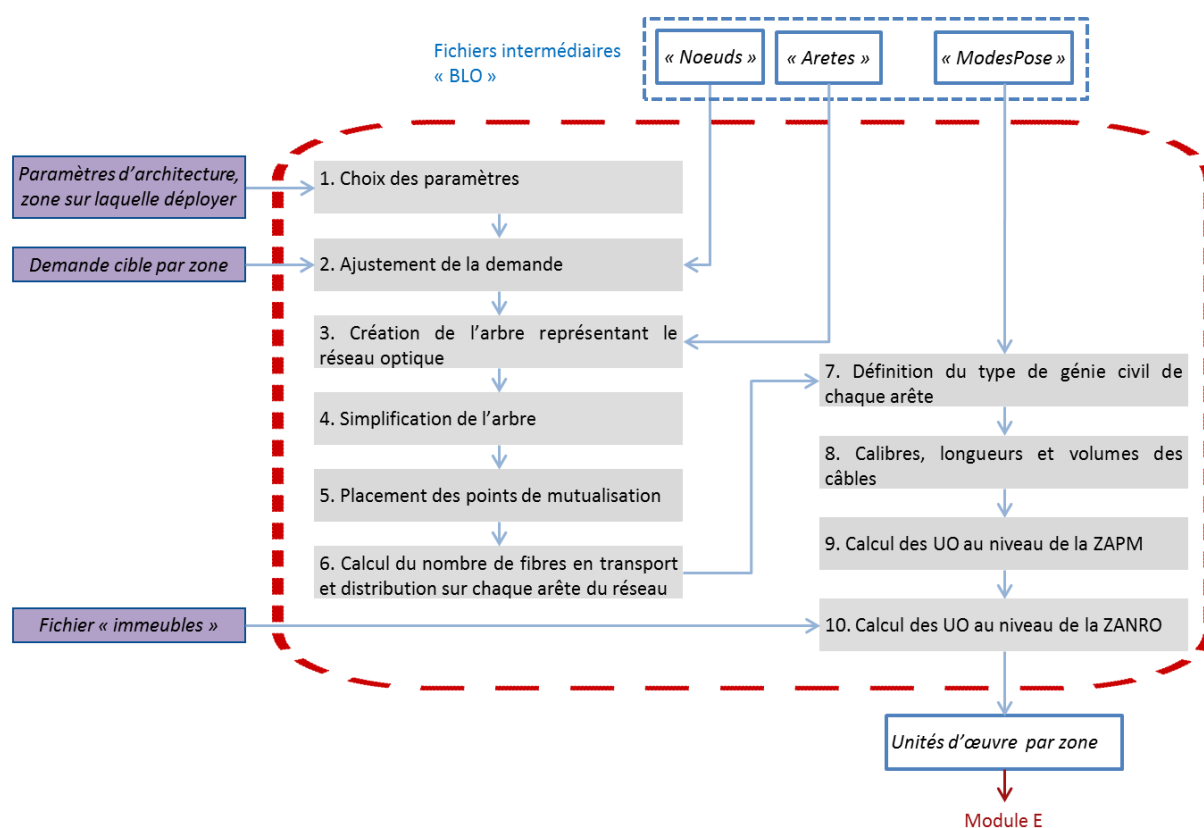


Figure 10 : schéma du module D (déploiement)

e) Interface utilisateur

Pour lancer le module de déploiement, il faut choisir les valeurs souhaitées pour les paramètres disponibles dans l'onglet de la fenêtre d'interface ci-dessous. En cliquant sur le bouton « lancer la modélisation », une petite fenêtre apparaît pour que l'utilisateur choisisse le jeu de fichiers intermédiaires « BLO » (c'est-à-dire le tracé) pour lequel il souhaite lancer le module de déploiement.

Ce module peut produire un certain nombre de fichiers de sortie plus ou moins détaillé, à des fins d'analyse et de tests. Dans la présente description ne seront présentées que les étapes de calcul nécessaire à la production du fichier d'unités d'œuvre agrégées par zone qui sert de fichier intermédiaire entre la partie du modèle en Java™ et le tableur des coûts.

Paramètres généraux de déploiement

☐ Placer les NRO aux NRA

Placement des points de mutualisation (PM)

Taille minimale des PM en ZMD : Médiane maximale de la distance PM-PBO pour chaque ZAPM (en mètres) :

Taille minimale des PM en poches de basse densité de la ZTD :

Taille minimale des PM extérieurs en poches de haute densité de la ZTD :

Taille minimale des PM intérieurs :

Amont des PM - transport optique

Taux appliqué aux nombre de lignes pour le dimensionnement du transport optique :

Nb min de fibres par PM300 : Nb min de fibres par PM100 :

Paramètres de calcul des unités d'oeuvre

Taille max. des câbles en souterrain : Surcapacité en distribution : Part de GC conduite à reconstruire :

Taille max. des câbles en aérien : Surcapacité en transport : Part de GC aérien à reconstruire :

Taille min. des câbles en horizontal : Mark-up longueur de câbles : Part de GC pleine terre reconstruit en aérien :

Nb max de lignes par PBO : Distance max inter boîtiers (m) :

Nb max de ligne par PM En ZMD : En ZTD_BD : En ZTD_HD : PMint en ZTD_HD :

Au NRO Nb de fibres par tiroir : Nb de tiroirs par RTO : Surface d'un RTO (m) : Coefficient multiplicateur surface :

Fichiers de sortie détaillés

☐ Unités d'oeuvre par PM ☐ Coûts par NRO ☐ Statistiques de longueurs ☐ Localisation des PM ☐ Shapefile des linéaires

Module D **Lancer la modélisation**

Figure 11 : onglet d'interface pour le module de déploiement

3.4.2 Fonctionnement technique global

Une fois le clic sur le bouton « Lancer la modélisation » et le choix du tracé à utiliser effectués (cf. ci-dessus), la classe `FenPrincipale` appelle un certain nombre de méthodes de `Paramètres` pour prendre en compte l'ensemble des choix effectués par l'utilisateur du modèle. Suite à cela, elle crée une instance de la classe `Déploiement` (qui est *runnable*) puis lance le thread correspondant. Celle-ci fait elle-même appel à une méthode `evaluation()` qu'il faut lire pour aborder dans l'ordre les différentes étapes du module de déploiement.

Cette méthode est structurée par ses boucles `for` enchâssées : une boucle sur les départements sélectionnés par l'utilisateur contient une boucle sur les zones sélectionnées qui contient elle-même une boucle sur tous les NRO appartenant à l'intersection de chaque département et de chaque zone.

Au sein de cette boucle `for` centrale, le programme crée une instance de la classe `BLO` correspondant à la « boucle locale optique » du NRO courant puis exécute un certain nombre de méthodes de `BLO`. Le champ clé de `BLO` est nommé `root` et de type `AreteBLOM` : il s'agit d'une arête virtuelle en amont du NRO, qui est la racine de l'arbre représentant la boucle locale optique mutualisée, dont les nœuds au sens algorithmique du terme sont les arêtes du réseau. Les nœuds du réseau sont des étiquettes de leur arête amont (champ `n` de type `Noeud` dans la classe `AreteBLOM`). Lors de la création d'une instance de `BLO`, l'arbre représentant la boucle locale optique est créé à partir des arêtes et des nœuds sauvegardés par le module topologique. Un certain nombre de parcours d'arbre sont ensuite effectués pour donner à l'arbre sa « structure » de boucle locale optique mutualisée puis calculer les unités d'œuvre (ces algorithmes sont décrits plus en détail dans les sections 3.4.4 et 3.4.5).

Autre champ important de `BLO`, l'objet `zones` de classe `Set<String>` est réduit à l'élément « ZMD » en zones moins denses et contient (le cas échéant) les éléments « ZTD_HD » et « ZTD_BD » en zones très denses ; il sert à gérer la superposition de deux réseaux qui peut se produire. C'est le champ `zoneMacro` qui correspond à la segmentation utilisée dans le reste du document en ZTD, ZMD-privée et ZMD-publique.

Une autre classe importante utilisée dans le module de déploiement est la classe des unités d'œuvre, `UO` : cette classe peut stocker les unités d'œuvre d'une zone arrière de PM (ZAPM), du réseau de transport de la ZANRO, de la ZANRO et même de toute une zone. Les champs de cette classe sont toutes des grandeurs extensives, ce qui permet de « sommer » entre elles plusieurs instances de cette classe et permet *in fine* le calcul des unités d'œuvre au niveau global.

Enfin, l'écriture dans les fichiers de sortie est gérée par la classe `PrintWriter` pour ce qui est des fichiers csv et grâce aux bibliothèques `GeoTools` et `JTS Topology Suite` pour ce qui est des fichiers de forme.

Les instructions placées en-dehors de la boucle `for` centrale remplissent les fonctions suivantes :

- avant la première boucle `for` : création et initialisation des fichiers de sortie et des instances globales par zone de la classe `UO` ;
- dans la première boucle `for` : création et initialisation d'autres fichiers de sortie, chargement des informations contenues dans le fichier « immeubles.csv » ;
- dans la deuxième boucle `for` : ajustement de la demande construite en cuivre à la demande cible après lecture des nœuds de réseau issus du module topologique (description détaillée en section 3.4.3) ;
- après la boucle `for` centrale : impression dans les fichiers de sortie et fermeture desdits fichiers.

3.4.3 Choix de la demande cible

a) Description fonctionnelle

Comme indiqué précédemment, le tracé du réseau se fait sur la base des réseaux physiques existants et de la demande localisée au niveau des PC du réseau cuivre d'Orange. En revanche, les réseaux d'accès de BLOM ayant vocation à desservir l'intégralité des zones où ils se déploient, il semble plus pertinent que la demande cible corresponde à l'ensemble des accès fixes.

Pour ce faire, l'Autorité a calculé une demande cible par zone, en s'appuyant sur les informations localisées communiquées par les opérateurs dans le cadre de leurs obligations réglementaires et l'enquête « logements » 2013 de l'INSEE. Cette méthode pourra être amenée à évoluer. L'incrément entre le nombre de lignes principales du réseau cuivre d'Orange et cette demande est ensuite réparti par tirage au sort équiprobable entre tous les nœuds du réseau ayant au moins un accès en demande locale.

La demande retenue à ce stade, correspondant au nombre de logements par zone, est la suivante :

Tableau 3 : demande cible retenue en France métropolitaine

Zone	ZTD	ZMD-privée	ZMD-publique
Demande	6,0 M	12,7 M	15,0 M

Question 7. Estimez-vous que la demande cible doit prendre en compte l'intégralité des accès fixes (résidentiels, pro, entreprises) ? Quelle est selon vous la bonne manière de calculer cette demande cible par zone ? La modélisation de l'algorithme d'ajustement de la demande « réseau » à cette demande cible vous paraît-elle pertinente ? Sinon, quelle solution alternative proposez-vous ?

b) Description technique

Techniquement, le fonctionnement de l'algorithme est le suivant : la demande cible est enregistrée dans un fichier .csv ; elle est sauvegardée et placée en mémoire vive dans un champ de la classe Paramètres par l'objet FenPrincipale avant la création d'une instance de Deploiement ; l'exécution de l'objet Deploiement charge l'ensemble des nœuds des boucles locales optiques dans sa deuxième boucle for, avant la boucle for centrale, et procède au tirage au sort décrit ci-dessus avant de lancer les étapes suivantes, qui se font zone arrière de NRO par zone arrière de NRO.

Concrètement, la lecture des fichiers intermédiaires « Nœuds » produits par le module topologique (et décrits en section 3.3.1) se fait à partir de la méthode statique readNœudsSelectDemande() de la classe Reseau. Les nœuds correspondant à des PM intérieurs (en ZTD-PHD) s'identifient localement comme tels dès cette étape. L'exécution de la méthode adapteDemande() de la classe Deploiement effectue ensuite le tirage au sort ; celle-ci s'appuie sur les méthodes increaseDemande() et decreaseDemande() de la classe Nœud.

3.4.4 Placement des PM

a) Description fonctionnelle

L'algorithme de placement des PM extérieurs est exécuté pour chaque boucle locale optique mutualisée (c'est-à-dire NRO par NRO). Comme la description fonctionnelle qui en est donnée en section 3.1.2 l'explique, les deux paramètres sont le seuil défini par le nombre de référence de lignes par PM, qui varie en fonction des zones³², et le plafond que doit respecter pour chaque PM la médiane des distances PM-PBO³³.

Le principe général de l'algorithme consiste à placer les PM à certains nœuds du réseau « aval du NRO considéré » tel qu'issu du module présenté en partie 3.3.5a), en parcourant ce réseau en partant des PBO et en remontant jusqu'au NRO. Chaque nœud visité par l'algorithme devient à titre provisoire un PM desservant un certain nombre de lignes et, lors du calcul du nœud « père »³⁴ :

- soit il n'est pas « regroupé » par le nœud « père », et le nœud acquiert alors définitivement sa qualité de PM ;
- soit il est « regroupé » par le nœud « père », et le nœud perd alors définitivement sa qualité de PM.

Le choix entre ces deux possibilités est fait en tenant compte des deux contraintes définies par les paramètres susmentionnés :

- un PM « provisoire » qui dessert un nombre de lignes supérieur au seuil de référence devient définitivement un PM et ne sera pas regroupé ;

³² 100 lignes par PM extérieur en ZTD-PHD, 300 lignes par PM sur tout le reste du territoire national.

³³ À titre provisoire, l'Autorité retient une valeur de 5 km.

³⁴ C'est-à-dire l'origine de l'arête amont. Tout nœud dans la boucle locale optique a un père (sauf le NRO qui est la racine) et un ou des fils (sauf les nœuds complètement en aval de l'arbre qui sont donc des feuilles).

- on exclut certains PM provisoires potentiellement « regroupables » (c'est-à-dire desservant un nombre de lignes inférieur au seuil de référence) du regroupement, de sorte à garantir le respect de la deuxième contrainte (plafond imposé sur la médiane des longueurs PM-PBO).

De façon plus détaillée, l'algorithme est défini de manière récursive non-terminale³⁵ comme suit pour tout nœud (dit *courant*) :

- l'algorithme est d'abord appliqué à chaque nœud fils ;
- on dresse ensuite la liste (potentiellement vide) des nœuds fils qui sont *regroupables* ;
- on ajuste cette liste afin de garantir le respect du plafond susmentionné au niveau du nœud courant :
 - o grâce à la distribution des longueurs de lignes desservies créées par l'algorithme au niveau des nœuds fils, on calcule la différence entre le nombre de lignes dont la longueur nœud courant – PBO est supérieure au plafond et le nombre de lignes dont la longueur nœud courant – PBO est inférieure au plafond ;
 - o tant que cette différence est strictement positive, on identifie le nœud fils qui contribue le plus à cette différence, on le supprime des nœuds fils regroupables et on actualise la différence en conséquence³⁶ ;
- on « place un PM » au nœud courant en :
 - o calculant et stockant le nombre de lignes qu'il dessert en sommant sa demande locale et les lignes desservies par ses nœuds fils encore regroupables ;
 - o calculant la distribution des longueurs PM-PBO pour toutes ces lignes ;
 - o déclassant les nœuds fils regroupables (désormais, ils ne sont plus des PM mais des nœuds simples, desservis par le PM le plus proche en amont de l'arbre : leur nombre de lignes desservies en tant que PM passe à 0 et leur distribution de longueurs est réinitialisée).

Enfin, on liste l'ensemble des PM intérieurs de la ZANRO lorsqu'il y en a, c'est-à-dire uniquement en ZTD-PHD : dans ces zones, les nœuds ayant une demande locale supérieure ou égale à 12 ou étant situés à Paris, Lyon ou Marseille sont des PM intérieurs (et leur demande n'a pas été prise en compte lors de l'algorithme de placement des PM extérieurs).

Question 8. Ce principe de modélisation du placement des PM vous paraît-il pertinent ? Quelle valeur retiendriez-vous pour le plafond imposé à la médiane des distances PM-PBO au niveau de chaque PM ? Les contributeurs sont invités à répondre en précisant les nombres de PM par NRO et les nombres de lignes par PM qu'ils jugent pertinents.

³⁵ Un algorithme récursif est un algorithme qui s'appelle lui-même : ici, le programme appelle l'algorithme de placement de PM une fois au niveau du NRO, ce qui le fait s'appeler sur les nœuds immédiatement en aval du NRO, et ainsi de suite jusqu'aux nœuds les plus en aval de l'arbre. Un algorithme récursif non-terminal signifie que l'algorithme ne termine pas par la récursion, mais effectue des opérations après : ici, l'algorithme commence par s'appeler sur les nœuds fils puis détermine le nombre de lignes en tant que PM du nœud courant ; contrairement aux algorithmes récursifs terminaux, ces algorithmes ne peuvent pas être transformés en algorithmes itératifs linéaires (typiquement structurés autour d'une boucle *while*) et sont donc plus compliqués à comprendre.

³⁶ En supprimant tous les nœuds fils, on ne compterait plus que la demande locale donc la différence serait inférieure ou égale à zéro : cette boucle termine bien.

b) Description technique

Après avoir créé sa BLO et appelé sa méthode `simplification()`³⁷, `Deploiement` appelle les méthodes `posePMExt()` et `listingPMint()` pour placer les PM extérieurs et lister les PM intérieurs.

L'appel de la méthode `posePMExt()` de BLO déclenche l'exécution de la méthode récursive de la racine `posePMExt(zone, plafondMediane, seuilPM)` ; dans le cas des zones très denses il y a un appel pour la ZTD-PHD et un appel pour la ZTD-BD. C'est cette méthode de la classe `AreteBLOM` qui définit l'algorithme de manière détaillée. Elle agit sur les champs techniques `distri`, `lignesSupSeuil` et `lignesInfSeuil` des nœuds `n` (classe `Noeud`) des arêtes, ainsi que sur ceux qui déterminent le résultat de la méthode `taillePM(zone)` (via la méthode `setTaillePM(zone, taille)`).

La méthode `demandeLocaleExt(zone)` de la classe `Noeud` est bien définie de telle sorte à exclure les lignes desservies par des nœuds qui correspondront aux PM intérieurs.

De même la méthode `listingPMint()` de BLO appelle la méthode récursive `listingPMint()` d'`AreteBLOM` qui se base sur la méthode `isPMint()` des nœuds (l'information est contenue dans chaque objet de classe `Noeud` depuis sa création, c'est pourquoi il s'agit simplement de les lister).

3.4.5 Calcul des unités d'œuvre

a) Description fonctionnelle

Une fois les PM extérieurs et intérieurs identifiés, plusieurs étapes sont nécessaires pour procéder au calcul des unités d'œuvre :

- le calcul du nombre de fibres en distribution et en transport pour chaque arête ;
- la définition du type de génie civil de chaque arête ;
- le calcul des calibres et des volumes de câbles pour chaque arête ;
- le calcul et l'agrégation, pour chaque zone arrière de PM et le réseau de distribution, des longueurs de câble de chaque type et calibre, des nombres de boîtiers d'épissurage et d'épissures nécessaires, des longueurs et des volumes de génie civil de chaque type, des nombres de PBO, des armoires de PM nécessaires ;
- l'agrégation des mêmes quantités au niveau des ZANRO auxquelles s'ajoute le calcul des quantités propres au NRO (tiroirs optiques, RTO, surface) et l'estimation du coût de la distribution verticale.

i. Calcul du nombre de fibres en distribution et transport

Ce calcul s'effectue à nouveau en procédant par récurrence. La fonction de calcul du nombre de fibres, appelée au niveau du NRO, est définie comme suit :

- l'arête courante somme séparément les fibres portées en distribution et en transport par ses arêtes filles ;
- elle ajoute ses propres lignes (sa demande locale) en distribution ;

³⁷ Cette méthode vise uniquement à simplifier l'arbre en supprimant les nœuds qui auraient uniquement une arête aval et pas de demande locale et en fusionnant l'arête aval et l'arête amont.

- si son extrémité aval est un PM, elle retranche le nombre de fibres correspondant en distribution³⁸ et ajoute en transport un nombre défini comme suit :
 - pour les PM intérieurs : $10\% * nb_{lignes_{PM}}$;
 - pour les PM100 : $\max(10\% * nb_{lignes_{PM}}, 10)$;
 - pour les PM300 : $\max(10\% * nb_{lignes_{PM}}, 36)$.

Question 9. *Le calcul du nombre de fibres optiques portées en distribution et en transport par arête vous paraît-il pertinent ? Quelles valeurs retiendriez-vous pour les paramètres utilisés ?*

ii. Définition du type de génie civil

Comme indiqué précédemment en section 3.3.5, il a été décidé lors du calcul du tracé des réseaux de ne prendre en compte le génie civil d'Orange que de manière indirecte : c'est cette étape qui est décrite ici. Après lecture dans le fichier intermédiaire approprié des pourcentages de type de génie civil propres à la zone arrière du NRO considéré, l'algorithme va parcourir l'arbre représentant la boucle locale optique mutualisée pour attribuer aux arêtes un des quatre types de génie civil suivant :

- génie civil aérien ;
- génie civil souterrain en pleine terre à reconstruire en aérien ;
- génie civil souterrain de pleine terre à reconstruire en conduite ;
- génie civil souterrain en conduite.

Les taux de génie civil aérien, de génie civil souterrain en conduite et de génie civil en pleine terre sont issus directement de la comptabilisation effectuée sur le périmètre de la ZANRO considérée ; en revanche le pourcentage de pleine terre à reconstruire en aérien (et par différence le pourcentage de pleine terre à reconstruire en conduite³⁹) est un paramètre du modèle sur lequel l'Autorité invite les acteurs à se prononcer.

L'attribution des types de génie civil aux arêtes se fait à nouveau par un parcours d'arbre suffixe en comptabilisant la longueur cumulée parcourue et en la rapportant à la longueur totale : les arêtes les plus proches des feuilles sont identifiées comme du génie civil aérien jusqu'à ce que le taux mesuré de génie civil aérien soit atteint, puis comme de la pleine terre à reconstruire en aérien, puis comme de la pleine terre à reconstruire en conduite, puis comme du génie civil en conduite.

Deux autres paramètres de génie civil jouent un rôle important dans le modèle : les pourcentages de génie civil en conduite et aérien qu'il convient de reconstruire (sans en changer le type, mais parce qu'ils sont endommagés et donc inutilisables). Les paramètres retenus à titre provisoire par l'Autorité sont respectivement 1 % et 6 %⁴⁰ : il semble que le pourcentage de génie civil en conduite reconstruit est effectivement très faible ; pour le génie civil aérien, l'Autorité ne retient que le taux de déclassement des poteaux du fait de leur état et non le taux de poteaux à remplacer du fait d'opérations de désaturation⁴¹, car le réseau modélisé est supposé porter l'intégralité de la demande d'accès fixe nationale et ne partage donc pas les infrastructures de génie civil avec un réseau cuivre.

³⁸ Son nombre de fibres en distribution devient donc nul.

³⁹ L'Autorité part du principe que 100 % du génie civil en pleine terre est à reconstruire et qu'il n'est pas efficace de reconstruire de la pleine terre pour un réseau d'accès.

⁴⁰ Taux dont Orange a fait part dans sa contribution en réponse à la consultation publique sur le bilan et les perspectives des analyses des marchés du haut et du très haut débit fixe (en réponse à la question 10).

⁴¹ L'Autorité a fait état dans son bilan et perspectives des marchés du haut et du très haut débit fixes un « taux moyen d'appuis en limite de capacités sur l'ensemble du territoire national » d'au moins 20 %.

En contrepartie, le réseau modélisé paie l'intégralité des coûts de génie civil de boucle locale d'Orange (cf. section 3.5.2)⁴².

Question 10. *Les principes de définition des types de génie civil utilisés vous paraissent-ils pertinents ? Quelles valeurs des paramètres de reconstruction utilisés l'Autorité devrait-elle selon vous employer ?*

iii. Calibres, longueurs et volumes des câbles

La modélisation effectuée distingue les câbles posés en génie civil aérien et les câbles posés en génie civil souterrain. Le modèle peut utiliser des câbles allant d'un calibre de 6 fibres optiques à un calibre de 720 fibres optiques ; il est possible de choisir le calibre minimal utilisé sur le réseau, le calibre maximal utilisé en aérien et le calibre maximal utilisé en souterrain. Les valeurs actuellement retenues par l'Autorité sont respectivement 24, 144 et 720. La modélisation ne fait au stade du déploiement pas de distinction entre câbles en module 6 et câbles en module 12⁴³. Il est proposé de considérer que tous les câbles sont en module 12, sauf les plus petits calibres utilisés en distribution, par exemple jusqu'à 48 fibres, qui correspondent à la partie du réseau la plus proche de l'utilisateur final. Le coût de fourniture de ces derniers câbles est donc majoré de 10% dans le module de coûts (cf. section 3.5.1b).

Pour identifier les câbles nécessaires à une arête, le modèle procède comme suit : après avoir multiplié le nombre de fibres par un facteur de surcapacité (différencié suivant qu'on soit dans le segment de transport ou de distribution), on prend le plus petit câble dont le calibre est supérieur ou égal à la quantité obtenue. Si la quantité est supérieure au calibre maximum, on prend plusieurs câbles, en utilisant autant de fois le câble de calibre maximum que nécessaire.

Pour passer du nombre de lignes en demande réelle au nombre de fibres portées par chaque arête, l'Autorité retient à titre provisoire en distribution un facteur multiplicatif de 1,3, soit une majoration de 30 %, et un facteur neutre égal à 1 pour le transport, eu égard au calcul du nombre de fibres portées par arête déjà effectué à l'étape i de la présente section.

Les coûts de construction du réseau sont généralement fonction de la longueur du génie civil, mais dans le cas d'arête contenant à la fois un (ou des) câble(s) de transport et un (ou des) câble(s) de distribution, il est nécessaire d'allouer sa longueur au prorata du volume des câbles. Le calcul des volumes est donc effectué à partir des diamètres communiqués dans le fichier de paramètres joint.

Enfin, pour assurer une marge de manœuvre opérationnelle nécessaire lors des déploiements réels, l'Autorité retient actuellement une majoration de 10% pour passer de la longueur des arêtes de génie civil à celle des câbles qui y sont déployés.

Question 11. *Les principes de modélisation des câbles vous paraissent-ils pertinents ? Quelles valeurs l'Autorité devrait-elle selon vous utiliser pour les différents paramètres mentionnés ?*

⁴² Le dernier projet d'analyses de marchés du haut et du très haut débit fixe prévoit qu'Orange finance les opérations de réparation de son génie civil même effectuées par des opérateurs tiers et les intègre à son patrimoine : la modélisation présentée ici ne se prononce pas sur ce sujet, mais pour des raisons de simplicité les coûts de remplacement du génie civil sont comptés dans les coûts de patrimoine tandis que l'annuité de génie civil payée à Orange qui figure dans les coûts d'exploitation est prise à investissement constant.

⁴³ Le module est le calibre de la plus petite gaine regroupant plusieurs fibres optiques à l'intérieur d'un câble. On utilise en général du module 12 en transport et dans une première partie du réseau de distribution, puis du module 6 en s'approchant des PBO et des utilisateurs finals.

iv. Calculs effectués au niveau de la zone arrière de PM

À l'échelle de la zone arrière de PM, il convient premièrement d'agréger les unités d'œuvre définies arête par arête et deuxièmement de calculer celles qui ne l'ont pas encore été : à cette étape s'effectue ainsi le calcul du nombre d'armoires de PM nécessaires (on considère ici qu'une armoire de PM300 peut contenir au maximum 400 lignes et qu'une armoire type de PM100 peut contenir au maximum 120 lignes), le nombre de boîtiers pour les PBO (l'Autorité considère un maximum de 8 lignes en demande réelle par PBO), ainsi que le calcul du nombre de boîtiers d'épissurage et d'épissures nécessaires à chaque intersection du réseau. Le calcul veille à laisser les câbles traverser les boîtiers « en passage » autant que faire se peut et ainsi à minimiser le nombre d'épissures. Toutefois, le calcul précité utilise un paramètre de distance inter-boîtiers maximale, fixé à 1 km. Ainsi, en présence d'une arête de longueur supérieure à ce plafond, on ajoute le nombre de boîtiers et d'épissures nécessaire pour que la distance inter-boîtiers le long de l'arête repasse sous ce plafond.

Les unités d'œuvres de câbles calculées au iii de la présente section sont agrégées au niveau de la ZAPM. Ensuite, l'algorithme calcule le nombre de PBO extérieurs à placer.

Question 12. Avez-vous des commentaires sur les principes de modélisation présentés ? En particulier, les valeurs des paramètres vous semblent-elles pertinentes (nombre de lignes par PM, nombre de boîtiers par PBO, distance inter-boîtiers) ?

v. Calculs effectués au niveau de la zone arrière de NRO

Les unités d'œuvre calculées en ZAPM sont agrégées au niveau de la ZANRO.

Au niveau de la ZANRO sont également calculées les unités d'œuvre liées au déploiement vertical, comme suit :

- le nombre d'immeubles ;
- par immeuble, le nombre de logements au-delà du 8^{ème} ;
- le nombre de PM intérieurs (en ZTD-PHD).

En effet, le coût du déploiement vertical est calculé comme suit :

- forfait + $\max(0, n - 8) * \text{cout_par_logement}$, où n est le nombre de logements de l'immeuble. Cette structure de tarification semble être courante chez les entreprises sous-traitantes ;
- lorsque il n'y a pas de PM intérieurs, ce montant recouvre l'intégralité des coûts du câblage vertical des immeubles, y compris la pose des PBO intérieurs ;
- en ZTD-PHD, il convient d'y ajouter les coûts de pose des PM intérieurs, comptabilisés séparément. Les PM intérieurs sont modélisés comme étant composés de boîtiers permettant d'accueillir chacun 24 lignes au maximum.

Pour ce faire, l'algorithme se sert de la base « immeubles.csv » (voir section 3.4.1b).

Il faut ensuite calculer les unités d'œuvre pertinentes au niveau du NRO, c'est-à-dire engendrant des coûts supportés par l'opérateur d'infrastructure et qui seront recouverts par les tarifs récurrents mensuels d'accès passif et non par les tarifs des prestations connexes (fourniture des baies de renvoi, d'énergie, climatisation, sécurisation). Les éléments pris en compte sont donc :

- les répartiteurs de transport optique (RTO) et leurs tiroirs optiques ;
- la surface associée au sein du bâtiment qui abrite le NRO (aussi appelé *shelter*) : ce coût est calculé par m² occupé au sol.

Les coûts supportés par les opérateurs commerciaux ne rentrent pas dans le cadre de la modélisation, comme par exemple les coûts d'installation des OLT⁴⁴ et des baies actives opérateur qui les accueillent.

RTO et tiroirs

Le nombre d'éléments supports dépend du nombre de lignes desservies par le NRO. En effet, on modélise successivement :

- un tiroir optique (4 U⁴⁵) pour 144 fibres optiques NRO-PM ;
- un RTO (40 U) pour 8 tiroirs optiques : bien qu'en théorie 10 tiroirs optiques peuvent être placés dans un RTO, il est supposé que les deux emplacements situés le plus haut dans le RTO ne sont pas occupés pour limiter les coûts d'exploitation.

Ces paramètres sont modifiables par l'utilisateur dans l'onglet « Module de déploiement » de l'interface utilisateur.

Par la suite, ces unités d'œuvre sont multipliées par les coûts unitaires d'un tiroir optique et d'un RTO (respectivement).

Le shelter

Il est estimé que le coût de l'occupation au sol par le RTO dans le *shelter* peut se calculer comme un coût unitaire du mètre carré multiplié par la surface au sol occupée par les éléments modélisés *supra*.

L'unité d'œuvre pertinente est donc la surface occupée, qui est calculé comme suit :

- les tiroirs optiques sont rangés dans les RTO, et n'occupent donc pas d'espace au sol ;
- un RTO occupe 0,48 m² ;
- un facteur multiplicatif de 1,5 est appliqué pour tenir compte de l'espace de circulation autour des RTO.

Soit :

$$surface = nb\ RTO \times 0,48m^2 \times 1,5.$$

Question 13. Avez-vous des commentaires sur la modélisation proposée ainsi que sur son périmètre ? Les valeurs des paramètres vous semblent-elles pertinentes (nombre de fibres par tiroir optique, nombre de tiroirs optiques par RTO, surface d'un RTO, facteur multiplicatif) ?

b) Description technique

Les calculs décrits aux i, ii et iii de la présente section s'effectuent de la manière décrite en appelant les méthodes `calculDemande()`, `setModesPose(adresseDossier)` et `calculerUOAretes()` de `BLO`. Ces méthodes appellent à leur tour toutes les méthodes récursives du même nom à la racine. La méthode `setModesPose()` effectue toutefois quelques calculs préliminaires : pour éviter de recalculer systématiquement des ratios, elle transpose les seuils exprimés en pourcentage en seuils exprimés en longueur totale parcourue. Par ailleurs, elle associe à chaque arête un niveau (les arêtes feuilles sont de niveau 1, et le niveau d'une autre arête est le maximum du niveau de ses filles plus un), afin de parcourir les arêtes par ordre de niveau croissant. Les détails du calcul des unités d'œuvre au niveau des arêtes sont dans les méthodes `calculCables()`, `calculSectionGC()` et `cables()` de la classe `ArêteBLOM`.

⁴⁴ Optical Line Terminal

⁴⁵ Unité de rack

Pour agréger les unités d'œuvre par arêtes en unités d'œuvre par zone arrière de PM (iv), le parcours est un peu plus complexe. Le but intermédiaire est de créer un objet de type `ZAPM` par PM, qui contiendra (entre autres) une instance de la classe `UO` contenant les unités d'œuvre recherchées. On lance à partir d'une liste vide la fonction récursive `agregarResultats()` qui renvoie la liste des zones arrière de PM produites : celle-ci crée un nouvel objet `ZAPM` dès qu'elle rencontre un nœud PM puis lance la méthode récursive `calculZAPM()` sur le sous-arbre correspondant, qui va progressivement ajouter les arêtes parcourues et leurs unités d'œuvre à la `ZAPM`. La fonction `calculZAPM()` s'arrête dès qu'elle rencontre les frontières de la `ZAPM`, matérialisée par une feuille de l'arbre ou un nouveau nœud PM.

3.5 Module de coûts

Une fois les unités d'œuvre calculées par le module de déploiement, c'est le module des coûts (un tableur Excel) qui calcule les coûts de patrimoine (égaux aux annuités de CAPEX⁴⁶), les coûts d'exploitation (OPEX⁴⁷) et les coûts communs, selon le schéma suivant :

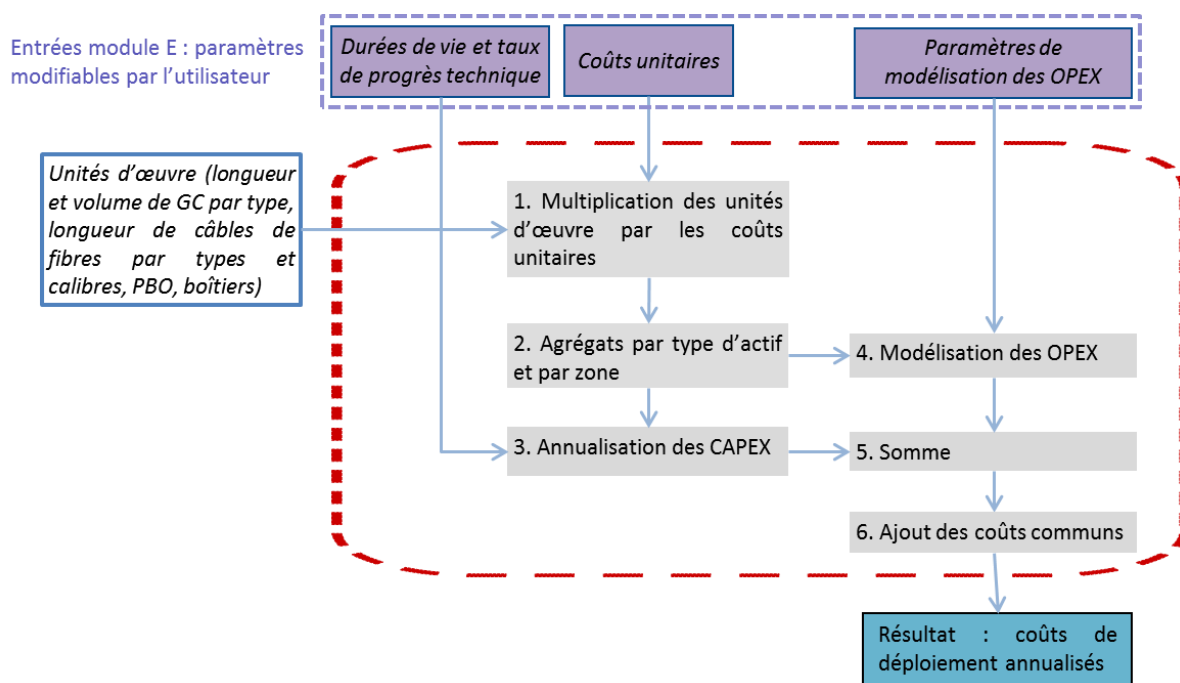


Figure 12 : schéma du module E (calcul des coûts)

L'utilisateur doit copier le fichier de sortie des modules en Java™ « UONatCouts*.csv » dans l'onglet « Unités d'œuvre » du fichier Excel « ARCEP_modèle réseau BLOM tarification dégroupage - module de coûts.xlsx ». Les annuités unitaires sont alors disponibles dans l'onglet « CAPEX annualisés », et les coûts d'exploitation dans l'onglet « OPEX ». La somme, incluant les coûts communs, est disponible dans l'onglet « Coût unitaire total », qui trace également l'évolution du coût en euros constants et en euros courants.

⁴⁶ Capital Expenditure : montants d'investissement

⁴⁷ Operational Expenditure : coûts d'exploitation

3.5.1 Les coûts de patrimoine

a) La méthode des coûts de remplacement en filière

Le module de coûts calcule les annuités des montants d'investissement selon la méthode des coûts de remplacement en filière (CRF), telles que décrite dans la décision n° 05-834 du 15 décembre 2005 de l'Arcep. Cette méthode repose donc sur les coûts de reconstruction à neuf d'un réseau, tel que calculés par le modèle, et l'annuité réelle⁴⁸ correspondante est égale à la somme des annuités des actifs selon la formule

$$A_t = \sum_{\text{actifs}} \frac{K_0}{(1+g)^t} \times \frac{1}{(1+h) \times \varphi(h,T)}$$

où :

- A_t représente l'annuité totale en termes réels payée en début année t ;
- K_0 représente l'investissement initial pour l'actif considéré ;
- g représente le taux de progrès technique de l'actif considéré ;
- h représente le taux composite de l'actif considéré, calculé selon la formule :
 - o $(1+h) = (1+g) * (1+w)$, avec w le WACC réel
- $\varphi(h,T) = \frac{1}{h} * \left(1 - \frac{1}{(1+h)^T}\right)$;
- T représente la durée de vie réelle de l'actif considéré.

Les valeurs du WACC réel (avant impôts) sont calculées à partir des valeurs du WACC nominal et d'inflation, qui sont des paramètres modifiables de l'onglet « Paramètres ».

b) Le calcul des coûts des actifs à partir des unités d'œuvre

L'onglet « Unités d'œuvre » est une copie directe du fichier de sortie du module de déploiement, qui donne les unités d'œuvre (UO) pour chaque type d'actif, par zone (ZTD / ZMD-privée/ ZMD-publique) et par segment (transport ou distribution optique). Ce tableau est ensuite transposé (inversion des lignes et colonnes) dans l'onglet « UO transposées ».

Dans l'onglet « CAPEX », le nombre d'unités d'œuvre de chaque type d'actif est multiplié par le coût unitaire du type d'actif qui se situe dans l'onglet « CU – calculs ». Les résultats sont encore donnés par zone et par segment.

Les données de l'onglet « CU – calculs » sont directement issues de l'onglet « Coûts unitaires », c'est donc seulement ce dernier onglet qui peut être modifié.

Précisions sur les coûts unitaires :

- tous les coûts unitaires incluent, en plus des coûts de fourniture (c'est-à-dire l'achat de l'actif), les coûts de pose et d'études (si pertinents) ;
- le coût des câbles souterrains varie entre 1,42 €/m et 12,15 €/m, pour des calibres allant de 24 fibres à 720 fibres ; le coût des câbles aériens varie entre 4,15 €/m et 7,80 €/m, pour des calibres allant de 24 à 288 fibres ;
- le coût de pose des câbles souterrains est de 0,90 €/m tandis que le coût de pose des câbles aériens est de 3,50 €/m ;

⁴⁸ Par réel, on entend ici hors évolution des prix sous l'effet de l'inflation (à la différence de nominal).

- les câbles sont tous en module 12, exceptés en distribution pour les calibres de 6 à 24 fibres (cf note de bas de page 43), ce qui majore leur coût de fourniture de 10% par rapport au transport ;
- les coûts unitaires des boîtiers d'épissurage incluent aussi les coûts de préparation des câbles, mais excluent le coût des épissures, comptées à part à 5€ par épissure;
- le coût des boîtiers d'épissurage est le même en souterrain et en aérien (mais les taux de progrès technique et les durées de vie différent), et varie entre 458€ et 770€ en fonction de leur taille ;
- pour le coût du déploiement vertical d'un immeuble, tel que décrit au v.de la section 3.4.5a) :
 - o l'unité d'œuvre « Vertical – adduction immeubles » correspond au nombre d'immeubles auquel est appliqué le montant forfaitaire, défini à 1 000 € par immeuble, qui comprend aussi les 8 premières épissures ;
 - o l'unité d'œuvre « Vertical – câblage logements » correspond au nombre de logements au-delà du 8^{ème} logement dans l'immeuble, auxquels est appliqué le coût par logement, défini à 57€, et qui comprend le coût de l'épissure additionnelle ;
 - o les PM intérieurs en ZTD-PHD sont dans l'unité d'œuvre « Armoires intérieures », et leur coût unitaire « Point de mutualisation en immeubles », est donné par boîtier de 24 fibres ;
- le coût de la reconstruction du génie civil est de 8€/m en aérien (poteaux), 40€/m en conduite allégée, en cas de reconstruction par-dessus de la pleine terre, et 100€/m en conduite renforcée, en cas de remplacement d'une conduite. Ces coûts ne prennent pas en compte d'éventuelles redevances payées par ce génie civil reconstruit⁴⁹. En revanche, les redevances du génie civil d'Orange sont bien prises en compte (cf. section 3.5.2f) ;
- le coût de l'accès au génie civil d'Orange se compose ici uniquement du coût des études, à 0,86€/m en aérien et 2,12€/m en conduite ; les coûts d'utilisation proprement dits sont quant à eux comptabilisés en coûts d'exploitation (cf. section 3.5.2f).

Question 14. *Quelles sont vos observations sur les valeurs de coûts unitaires des types d'actifs retenues dans l'onglet « Coûts unitaires » du module Excel ?*

c) Les catégories d'actifs

En pratique, le calcul de l'annuité est réalisé non pas par type d'actif mais par catégorie d'actifs, en regroupant au sein d'une catégorie les actifs ayant le même taux de progrès technique et la même durée de vie. Ce calcul est réalisé dans l'onglet « CAPEX agrégés⁵⁰ ».

Pour cela :

- les câbles de calibres différents sont regroupés (tout en gardant la distinction aérien/souterrain) ;
- les boîtiers de calibres différents sont regroupés (tout en gardant la distinction aérien/souterrain) ;

⁴⁹ Il est supposé que la quasi-totalité du génie civil reconstruit est en effet reconstruit sur du génie civil d'Orange et ne donnerait alors pas lieu à des redevances supplémentaires.

⁵⁰ Cet onglet est un onglet de calcul intermédiaire. Comme précisé au début de la section 3.1.3, isoler les coûts d'une ligne de cet onglet pour une utilisation autre que celle prévue dans cette consultation publique ne serait pas pertinent.

- les reconstructions de génie civil en conduite renforcée et en conduite allégée sont regroupées ;
- les coûts d'adduction d'immeubles et de câblages de logements (au-delà de 8 logements dans l'immeuble) sont regroupés ;
- les éléments supports des « actifs » des NRO sont regroupés⁵¹.

Les catégories d'actif sont donc les suivantes :

- éléments de la BLOM situés au sein des NRO (tiroirs optiques et répartiteurs de transport optique) ;
- points de mutualisation (PM) extérieurs ;
- points de branchement optique, différenciés selon le mode de pose (aérien ou souterrain) ;
- câbles optiques (hors déploiement vertical), différenciés selon le mode de pose (aérien ou souterrain) ;
- câbles optiques pour le déploiement vertical ;
- boîtiers optiques, différenciés selon le mode de pose (aérien ou souterrain) ;
- épissures, différenciées selon le mode de pose (aérien ou souterrain) ;
- reconstructions du génie civil, distinguées selon le mode de pose (aérien ou souterrain) ;
- études effectuées pour l'accès au génie civil d'Orange (aérien ou souterrain). La durée de vie des études est celle des câbles correspondants (aérien ou souterrain), et le taux de progrès technique est fixé à 0% (cf. onglet « Taux composite – calculs »).

Question 15. *Quelles sont vos observations sur les valeurs de progrès technique et de durée de vie retenues dans l'onglet « Paramètres » du module Excel pour chacune des catégories d'actifs ?*

d) Annualisation des coûts d'investissement

L'onglet « CAPEX annualisés » calcule, par zone, la somme des coûts d'investissement de l'onglet « CAPEX agrégés » sur la France entière, pour chaque catégorie d'actifs, dans la colonne C.

Les colonnes D et suivantes présentent les annuités unitaires par ligne en découlant : la formule des coûts de remplacement en filière est appliquée à ces montants en prenant les valeurs de progrès technique, de taux composite et de durée de vie, propres à chaque catégorie d'actifs, dans l'onglet « Taux composite – calculs » qui est directement issu de l'onglet « Paramètres », et une division par le nombre de lignes est effectuée.

Ensuite, les annuités unitaires (ou coûts de patrimoine unitaires) de toutes les catégories d'actifs sont sommées pour donner une annuité unitaire totale d'investissement par zone.

L'onglet « CAPEX par segment » agrège ensuite les résultats de l'onglet « CAPEX annualisés » par segment : NRO / Transport / PM / Distribution / PBO. Ensuite, par une moyenne des 3 zones (ZTD /

⁵¹ Comme précisé en section 3.4.5, ces éléments comprennent les tiroirs optiques et les RTO mais excluent les éléments actifs déployés par les opérateurs commerciaux ainsi que les coûts de l'opérateur d'infrastructure recouverts via l'offre d'hébergement au NRO.

ZMD-privée / ZMD-publique) pondérée par le nombre de lignes, il présente les résultats au niveau national.

3.5.2 Les coûts d'exploitation

Aux coûts de patrimoine unitaires s'ajoutent des coûts d'exploitation unitaires qui sont calculés au niveau national dans le module Excel.

L'Autorité, en s'appuyant notamment sur une comparaison internationale de la modélisation des coûts d'exploitation par d'autres ARN dans les modèles « *bottom-up* », identifie les catégories suivantes de coûts d'exploitation :

- les coûts d'exploitation de réseau :
 - o coût du service après-vente, qui correspond au coût de réparation des défauts sur ligne ;
 - o coût de supervision des opérations de maintenance (ou coût d'exploitation du réseau d'accès) ;
 - o coût des bâtiments des NRO, qui correspond aux coûts des bâtiments (*shelters*) abritant les NRO ainsi que des terrains qu'ils occupent, exprimés en loyers ;
 - o coût des systèmes d'information (SI) ;
 - o coût de conception et de planification du réseau ;
 - o coût d'utilisation du génie civil d'Orange ;
- les coûts d'exploitation hors réseau :
 - o coût de commercialisation sur le marché de gros.

Ces méthodes sont proposées par l'Autorité, sur la base d'une comparaison internationale et d'éléments de comparaison issus de la comptabilité réglementaire d'Orange.

L'Autorité précise toutefois que, sur certains de ces coûts, les éléments de comparaison sont peu nombreux. Aussi, l'Autorité est particulièrement intéressée pour recueillir les avis des acteurs du secteur sur ces différents éléments.

a) Coût du service après-vente (SAV)

Ce coût correspond au coût des réparations des défauts sur ligne et au coût du support téléphonique associé (*hotline*). Ce coût unitaire est estimé par une modélisation ascendante selon la formule suivante :

$$\text{taux de défauts par ligne} \times \text{temps d'intervention par faute} \\ \times \text{coût horaire chargé technicien}$$

Les valeurs proposées pour les différents paramètres sont :

- taux de défauts par ligne : 6 % (par ligne et par an), calculé à partir d'un taux de défauts sur le réseau cuivre auquel est appliqué un coefficient d'efficience (cet ajustement permet de tenir compte du fait que le réseau modélisé est un réseau neuf, contrairement au réseau cuivre) ;
- temps d'intervention par défaut : 4 h ;
- coût horaire chargé de technicien : 50 €/h : ce coût est calculé à partir d'un coût horaire brut technicien de 40 €/h (incluant les charges salariales et patronales), auquel on ajoute une majoration de 25 % correspondant à la quote-part des coûts de soutien, de véhicules, de

formation, d'approvisionnement, de logistique, de recherche et développement, et de bâtiments (hors répartiteurs)⁵².

Le calcul aboutit à une valeur de 1,00€/ligne/mois.

b) Coût de supervision des opérations de maintenance

Ce coût correspond au coût des équipes employées pour superviser les opérations de remplacement des actifs défectueux du réseau. Ce coût total est estimé par une modélisation ascendante selon la formule suivante :

$$\text{nombre d'ETP} \times \text{heures travaillées par an} \times \text{coût horaire chargé ingénieur}$$

Les valeurs retenues pour les différents paramètres sont :

- nombre d'ETP : 120 ;
- heures travaillées par an : 1 610 (calculé à partir de 46 semaines par an à 35 h/semaine) ;
- coût horaire chargé ingénieur : 100€/h (calculé comme 200% du coût horaire chargé technicien).

Le coût total en résultant est de 19 millions d'euros annuels.

En revanche, ce coût n'inclut pas les coûts de remplacement des actifs défectueux, que l'on considère comme étant pris en compte dans les coûts de patrimoine par le choix d'une durée de vie des actifs qui reflète la durée moyenne réelle escomptée des actifs et non la durée de vie théorique des actifs (qui exclurait les cas de panne et de défaut prématurés).

c) Coût des bâtiments des NRO

Ce coût correspond aux coûts des bâtiments (aussi appelés *shelters*) qui abritent les NRO, exprimés en coûts annuels, auxquels s'additionnent les loyers annuels des terrains sous-jacents, selon la formule :

$$\text{surface des NRO} \times (\text{coût unitaire du bâtiment} + \text{coût unitaire du terrain})$$

Les valeurs retenues pour les différents paramètres sont :

- coût unitaire du bâti : 154€/m²/an ;
- coût unitaire du terrain : 6€/m²/an.

Ce total de 160€/m²/an est donc multiplié par la surface totale occupée par les NRO, disponible en cellule F8 de l'onglet « UO transposées ».

d) Coût des systèmes d'information

Ce coût est évalué à 25 millions d'euros annuels. Il exclut les coûts des postes informatiques des équipes de maintenance.

e) Coût de conception et de planification du réseau

Au vu de l'impossibilité de déterminer une durée de vie pertinente, qui correspondrait à la durée de vie du réseau, pour annualiser des coûts d'investissements dans la conception et la planification du réseau, l'Autorité estime qu'il est plus raisonnable de considérer ces coûts comme des coûts d'exploitation plutôt que de les prendre en compte dans les montants d'investissement. De surcroît, les modèles étrangers auxquels l'Autorité a eu accès modélisent tous ce coût également comme un coût d'exploitation.

⁵² La définition de ces coûts est donnée dans la décision Arcep n° 06-1007 du 7 décembre 2006, section II-2.3.1.

Le nombre d'ETP nécessaires (ingénieurs) est évalué à 20, ce qui donne un coût total de 3 millions d'euros annuels.

f) Coût d'utilisation du génie civil d'Orange

Ce coût est calculé à partir de l'annuité de génie civil (coûts de patrimoine valorisés suivant la méthode des coûts courants économiques et coûts d'exploitation réels comprenant les redevances payées aux collectivités locales) issue du modèle de comptabilité réglementaire d'Orange.

g) Coût de commercialisation de gros

Ce coût est l'équivalent de la « DIVOP » dans la comptabilité d'Orange⁵³ et est estimé à 0,10€/ligne/mois.

Question 16. Les catégories de coût d'exploitation exposées ci-dessus vous paraissent-elles pertinentes ? Le cas échéant, quelles catégories alternatives proposez-vous, et dans ce cas, comment les modélisez-vous ?

Question 17. Les principes de modélisation des coûts d'exploitation exposés ci-dessus vous paraissent-ils pertinents ? En particulier,

Question 18. le choix de prendre en compte les coûts de remplacement des actifs défectueux dans les coûts de patrimoine et non dans les coûts d'exploitation (voir soulignement supra) vous paraît-il pertinent ? Le cas échéant, quelle modélisation proposez-vous pour calculer ces coûts d'exploitation ?

Question 19. le choix de considérer les coûts de conception et de planification du réseau comme un coût d'exploitation vous paraît-il pertinent ? Le cas échéant, dans l'hypothèse d'une modélisation en coûts de patrimoine, quelle est selon vous la durée de vie réelle ainsi que le taux de progrès technique à retenir pour l'annualisation ?

Question 20. Quelles sont vos observations sur les différents paramètres retenus pour la modélisation des coûts d'exploitation dans l'onglet « Paramètres » ?

3.5.3 Les coûts communs

La contribution aux coûts communs est calculée selon une majoration des coûts totaux (coûts de patrimoine et coûts d'exploitation) de 6% (arrondi du dernier taux connu dans la comptabilité réglementaire d'Orange).

Question 21. Avez-vous des observations sur cette modélisation des coûts communs ainsi que sur la valeur retenue de 6% ?

3.5.4 Autres coûts

La somme des coûts de patrimoine, des coûts d'exploitation et de la quote-part des coûts communs est présentée dans l'onglet « Coût unitaire national ». Ces coûts sont par ailleurs soumis à la CVAE⁵⁴ dont le montant est d'environ 0,14€/ligne/mois.

⁵³ Cf. décision de l'Arcep n° 05-0834 du 15 décembre 2005

⁵⁴ Cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises, cf. articles 1586 ter à 1586 nonies du code général des impôts.

4 Premiers résultats à titre indicatif : les grandeurs physiques

À titre d'exemple, l'Autorité fournit ici un certain nombre d'unités d'œuvre ainsi que des grandeurs statistiques caractéristiques qui permettent aux acteurs d'appréhender le réseau modélisé. La distance maximale de regroupement des NRA en NRO, définie en section 3.3.4, a été fixée à 15 km dans cet exemple.

Le modèle pouvant évoluer à la suite de la consultation publique, les résultats présentés sont provisoires et donnés uniquement à titre indicatif. En raison de la nature de l'opérateur modélisé (générique efficace), ces résultats n'ont pas vocation à être comparés avec les données issues du déploiement réel des opérateurs d'infrastructure.

Tableau 4 : grandeurs physiques nationales par zone (France métropolitaine)

	Total	ZTD	ZMD-privée	ZMD-publique
Nombre de lignes	33,7 M	6 M	12,7 M	15 M
NRO	7 510	286	1 836	5 388
Nombre de lignes par NRO	4 500	21 000	6 900	2 800
PM extérieurs (PM ext)	108 000	23 000	36 000	49 000
Nombre de PM ext par NRO	15	80	20	9
Nombre de lignes extérieures par PM ext	288	155	350	300
Longueur moyenne de transport par ligne extérieure	1 750 m	1 310 m	1 470 m	2 100m
Longueur moyenne de distribution horizontale par ligne extérieure	1 000 m	220 m	580 m	1 540 m
Longueur de GC en transport	69 200 km	10 300 km	11 600 km	47 300 km
Longueur de GC en distribution	790 000 km	20 500km	183 000 km	586 500 km

Certaines grandeurs ont été arrondies.

Les lignes intérieures sont ici définies comme les lignes en ZTD-PHD qui passent par un PM intérieur. Le reste des lignes sont des lignes extérieures.

Question 22. Avez-vous des observations sur les grandeurs présentées ci-dessus ? Le cas échéant, identifiez-vous des valeurs qui pourraient paraître incohérentes ?

5 Modalités d'utilisation pour la tarification du dégroupage

Comme précisé en section 1 et développé dans son projet d'analyse de marché 3a mis en consultation publique du 9 février au 15 mars 2017, l'Autorité envisage d'utiliser le modèle présenté dans les parties précédentes comme un élément de référence à considérer pour la détermination du tarif du dégroupage.

Le résultat fourni par le modèle, et en particulier le coût déterminé par le module de coûts en section 3.5, ne prend pas en compte la fiscalité spécifique à la paire de cuivre. Ce point est abordé en section 5.1. Il ne comprend également pas le coût des coupleurs optiques, examiné en section 5.2.

Par ailleurs, dans son principe, l'utilisation du coût d'un réseau moderne efficace NGA pour la tarification du cuivre vise, selon la recommandation de la Commission précitée, à donner un signal « construire ou acheter » : « le signal « construire ou acheter » opportun établit un juste équilibre entre les mesures garantissant une entrée efficace et celles suffisamment incitatives pour attirer les investissements vers les réseaux NGA, en particulier vers leur déploiement » (considérant 27). L'utilisation des résultats du modèle pour la tarification du dégroupage impose ainsi une réflexion sur :

- le réseau moderne efficace NGA dont les coûts sont calculés ;
- la cohérence des modalités du calcul des coûts avec les objectifs recherchés.

Les sections 5.3 et 5.4 interrogent les acteurs sur ces deux dernières questions.

5.1 Prise en compte de la fiscalité spécifique à la paire de cuivre

Pour calculer un tarif équivalent au tarif récurrent mensuel du dégroupage total à partir du modèle, il semble nécessaire d'ajouter l'IFER⁵⁵ au coût calculé en section 3.5 afin d'obtenir le même périmètre de coûts que le dégroupage total. Son montant est de 12,65€/paire/an à compter de 2017, ajusté d'un coefficient de réévaluation⁵⁶. Le tarif récurrent mensuel équivalent à celui du dégroupage total devrait être calculé en prenant en compte l'évolution de l'IFER sur la période 2018-2020.

Question 23. *Comment l'Autorité devrait-elle selon vous prendre en compte la fiscalité spécifique portant sur les paires de cuivre pour obtenir une référence comparable au tarif récurrent mensuel du dégroupage total à partir du résultat fourni par le modèle ?*

5.2 Prise en compte des coupleurs optiques

Les coupleurs optiques sont généralement posés par les opérateurs commerciaux et non par l'opérateur d'infrastructure déployant le réseau. Pour cette raison, ils n'ont pas été inclus dans le périmètre de la modélisation présentée.

Toutefois, dans le souci de produire un résultat comparable dans son périmètre aux coûts du dégroupage total, il peut être pertinent de supposer que l'opérateur d'infrastructure installe les coupleurs optiques, dans le réseau de transport en zones très denses et au niveau du PM en zones moins denses, de sorte à obtenir une « continuité optique » entre NRO et PBO.

⁵⁵ Imposition forfaitaire pour les entreprises de réseaux, cf. article 1599 quater B du code général des impôts

⁵⁶ Voir <http://bofip.impots.gouv.fr/bofip/1258-PGP>

Question 24. *L'Autorité devrait-elle inclure le coût des coupleurs optiques pour obtenir un tarif équivalent au tarif récurrent mensuel du dégroupage total ? Si oui, quel est selon vous le coût d'un coupleur, selon le taux de couplage ? Conviendrait-il de modéliser les coupleurs différemment en ZTD et en ZMD ?*

5.3 Choix du réseau moderne efficace

Le choix du réseau moderne efficace parmi les réseaux NGA est déterminant pour calculer les coûts de ce réseau. A ce stade, l'Autorité identifie deux questions sur le choix d'un tel réseau :

- le réseau doit-il inclure le raccordement final ?
- le réseau est-il un réseau d'accès fibre (FttX) sur l'ensemble du territoire ?

5.3.1 Le raccordement final

Comme indiqué en section 2.1, le modèle présenté en consultation publique ne modélise pas le raccordement final (entre le point de branchement optique et la prise terminale optique située dans le logement).

Ceci ne préjuge nullement du fait d'intégrer ou non le coût du raccordement final dans le coût du réseau moderne efficace, selon des modalités à préciser le cas échéant.

Au regard tant de la recommandation précitée⁵⁷ que de la pratique des autres ARN, l'actif moderne efficace peut ou non inclure le coût du raccordement final, selon que l'architecture FttX retenue est une architecture de type « fibre jusqu'au point de concentration » ou « fibre jusqu'à l'abonné ». Les deux approches participent de logiques différentes, qui combinent les choix effectifs de déploiement des réseaux NGA et historique des réseaux cuivre.

Question 25. *Quelle est votre estimation du coût moyen de raccordement final selon les différentes zones (ZTD, ZMD-privée et ZMD-publique) ? Comment proposeriez-vous de le modéliser ?*

Question 26. *L'Autorité devrait-elle selon vous inclure le coût du raccordement final de la fibre pour servir de référence à une tarification de la paire de cuivre en actif moderne efficace ? Expliquez votre raisonnement. Si oui, devrait-elle l'inclure en totalité ou partiellement, et sur quelles bases ?*

5.3.2 Le réseau moderne efficace en zones moins denses d'initiative publique

Actuellement, le territoire national est découpé en trois grandes zones : ZTD, ZMD-privée et ZMD-publique. Les ZTD et les ZMD-privée constituent la zone privée, où les opérateurs ont déployé spontanément, sans subvention publique, leurs boucles locales optiques et se sont engagés à continuer. En revanche, dans les zones moins denses d'initiative publique (ZMD-publique), par définition, les opérateurs ne déploient pas spontanément de boucles locales optiques sans subvention publique. La question se pose ainsi de savoir si un réseau FttX est bien un réseau moderne efficace sur cette zone.

La recommandation précitée précise notamment que : « En vertu du principe de neutralité technologique, les ARN devraient envisager, pour la modélisation d'un réseau NGA efficace hypothétique, différentes approches en fonction de la technologie d'accès et de la topologie de

⁵⁷ « Il est possible de considérer un réseau FttH, un réseau FttC (fibre jusqu'au point de concentration) ou une combinaison des deux comme le réseau NGA moderne efficace. » (considérant 41, soulignement ajouté).

réseau les mieux adaptées à la situation nationale » et note que les réseaux en cuivre peuvent être concurrencés par le câble, la fibre optique (FttX) et « *dans une moindre mesure, les réseaux mobiles [en particulier LTE (Long Term Evolution)]* ». Certaines autorités de régulation nationale ont ainsi modélisé une partie de leur réseau moderne efficace NGA avec des offres de type « *fixed wireless access* ».

Dans sa modélisation et dans une logique de long terme, l'Autorité a retenu la construction d'un réseau de boucles locales optiques sur l'ensemble du territoire national.

Toutefois, dans le cadre de la tarification du dégroupage, la question de l'empreinte du réseau fibre à retenir mérite d'être posée :

- d'une part, les coûts de la paire de cuivre pris en compte dans la tarification actuelle du dégroupage sont mesurés sur la quasi-totalité⁵⁸ du territoire. Les coûts du réseau fibre à prendre en compte s'appuieraient alors sur la même empreinte géographique ;
- d'autre part, les opérateurs privés ne déploient pas spontanément dans la zone publique sans subvention. Les coûts à retenir pourraient être alors restreints à ceux de la zone privée ou encore être étendus à la zone publique soustraction faite des subventions rendant les déploiements possibles dans cette dernière zone.

Question 27. *Les acteurs sont invités à présenter leur réflexion sur ce qui leur paraît le plus pertinent de considérer en termes de typologie de réseau moderne efficace à retenir et de coûts à prendre en compte pour la tarification du dégroupage, et à présenter toute autre option alternative non évoquée ci-dessus.*

5.4 Modalités de calcul de l'annuité

a) La méthode d'annualisation des investissements

Comme présenté en section 3.5.1a), la méthode des coûts de remplacement en filière a été choisie pour annualiser les coûts d'investissement. L'Autorité estime que cette méthode de coûts est cohérente avec une modélisation ascendante (« *bottom-up* ») des coûts⁵⁹.

Question 28. *La méthode des coûts de remplacement en filière pour l'annualisation des coûts d'investissement du réseau d'accès fibre vous semble-t-elle pertinente dans le cadre de la tarification du dégroupage ?*

Il faut toutefois noter que cette méthode de calcul des coûts se base sur l'hypothèse que le réseau est construit instantanément, et que le remplissage du réseau est immédiat, comme précisé en section 2.1. Ainsi, la modélisation proposée s'abstrait des problématiques temporelles de déploiement et de remplissage du réseau.

En réalité, un opérateur déploierait son réseau sur plusieurs années, ce qui réduirait le coût actualisé du déploiement. A l'inverse, le remplissage du réseau ne serait pas immédiat, ce qui l'amènerait à augmenter son taux de rentabilité attendu.

⁵⁸ Les lignes inéligibles au DSL ainsi que les lignes compensées au sein de la première composante du service universel sont exclues des coûts de la paire de cuivre, conformément à la décision Arcep n° 05-834 du 15 décembre 2005.

⁵⁹ Voir aussi la recommandation n° 2013/466/UE du 11 septembre 2013 : « *Elles devraient évaluer tous les actifs qui constituent la BAR du réseau modélisé sur la base des coûts de remplacement, sauf pour les actifs de génie civil historiques réutilisables* » (point 33)

b) Le taux de rémunération du capital

Dans sa décision n° 2015-1369 du 5 novembre 2015, l'Autorité a fixé le taux de rémunération du capital employé pour la comptabilisation des coûts et le contrôle tarifaire des activités fixes régulées pour les années 2016 et 2017. L'Autorité mettra prochainement en consultation publique un projet de décision fixant ce taux de rémunération pour les années 2018 à 2020.

Toutefois, dans sa recommandation 2010/572/UE « NGA »⁶⁰, la Commission européenne a proposé la prise en compte d'une prime de risque pour la tarification des réseaux NGA, reflétant le risque d'investissement.⁶¹

Question 29. Les acteurs sont invités à s'exprimer sur l'opportunité de l'intégration d'une prime de risque dans le taux de rémunération du capital utilisé pour l'annualisation.

c) L'annuité à retenir

Le module de coûts (onglet « CAPEX annualisés ») permet de calculer les coûts de patrimoine (égales aux annuités des montants d'investissement) à partir de 2018, année supposée de construction du réseau, puis pour toutes les années suivantes.

Les annuités ne sont pas constantes : elles évoluent, en termes réels (euros constants), sous l'effet d'une part du progrès technique de chacune des composantes du réseau et d'autre part de l'évolution des coûts unitaires de génie civil.

Pour calculer une référence équivalente au tarif récurrent mensuel du dégroupage total sur la période 2018-2020, dans l'optique d'un potentiel encadrement tarifaire pluriannuel, plusieurs choix sont possibles pour la définition d'une ou plusieurs année(s) de référence.

À titre d'exemple, il est possible de prendre, s'agissant de l'annuité exprimée en termes réels (euros constants) :

- une annuité constante sur la période 2018-2020, égale à celle calculée par le modèle pour 2018 (année « 0 » du modèle) ;
- une annuité constante sur la période 2018-2020, définie comme une moyenne des annuités calculées par le modèle pour les années 2018, 2019 et 2020 ;
- pour chacune des années 2018, 2019 et 2020, l'annuité effectivement calculée par le modèle pour l'année en question.

Question 30. Les acteurs sont invités à s'exprimer sur le choix pertinent d'années de référence des annuités pour le calcul d'une référence comparable au tarif récurrent mensuel du dégroupage total dans le cadre d'un encadrement tarifaire triennal.

* *

*

Question 31. Les acteurs sont invités à s'exprimer, s'ils le souhaitent, sur tout autre sujet qu'ils estiment pertinent dans le cadre de cette consultation publique.

⁶⁰ Recommandation de la Commission du 20 septembre 2010 sur l'accès réglementé aux réseaux d'accès de nouvelle génération (NGA).

⁶¹ « Le tarif de l'accès à la boucle optique dégroupée devrait être orienté vers les coûts. Lors de la fixation de ce tarif, les ARN devraient dûment prendre en compte le risque d'investissement supplémentaire et quantifiable encouru par l'opérateur PSM. En principe, ce risque devrait être reflété par une prime incluse dans le coût en capital de l'investissement correspondant, comme exposé à l'annexe I. »

Annexes

1 Annexe 1 : Conditions de réutilisation des Fichiers Sources élaborés par l'Arcep - Licence Ouverte

1.1 Définitions

Les « Fichiers Sources » désignent l'ensemble des fichiers textes « .java », « .form » et le tableur « .xlsx », élaborés et publiés par l'Arcep, utilisés afin de réaliser la modélisation ascendante d'un réseau de boucle locale optique mutualisée.

Le « Réutilisateur » est toute personne physique ou morale qui réutilise les Fichiers Sources conformément aux présentes conditions.

1.2 Réutilisation des Fichiers Sources

L'Arcep garantit au Réutilisateur le droit personnel, non exclusif et gratuit, de réutilisation des Fichiers Sources transmis pour la présente consultation publique, pour une durée illimitée.

Sous réserve des dispositions du 1.3 ci-dessous, le Réutilisateur est libre de :

- reproduire, copier, publier et transmettre les Fichiers Sources ;
- diffuser et redistribuer les Fichiers Sources ;
- adapter et modifier les Fichiers Sources ;
- exploiter les Fichiers Sources à titre commercial, notamment en l'incluant dans ses propres productions.

1.3 Réserves à la réutilisation des Fichiers Sources

Pour toute réutilisation des Fichiers Sources, de quelque nature qu'elle soit, le Réutilisateur doit mentionner la paternité de ceux-ci, ce qui consiste à :

- préciser le nom de l'Arcep (Autorité de régulation des communications électroniques et des postes) ;
- la date et la version des Fichiers Sources.

La mention de paternité ne doit conférer aucun caractère officiel à la réutilisation des Fichiers Sources, ni suggérer une quelconque reconnaissance ou caution par l'Arcep du Réutilisateur ou de la réutilisation.

1.4 Responsabilité

Les Fichiers Sources sont mis à disposition par l'Arcep sans garantie de l'absence de défauts. L'Arcep ne peut être tenue pour responsable de toute perte, préjudice ou dommage de quelque sorte causé du fait de la réutilisation des Fichiers Sources.

Le Réutilisateur est le seul responsable de la réutilisation des Fichiers Sources. La réutilisation ne doit pas induire en erreur des tiers quant à leurs contenus, leur source ainsi que la date et la version utilisée.

1.5 Droits de propriété intellectuelle

L'Arcep garantit que les Fichiers Sources ne contiennent pas de droits de propriété intellectuelle appartenant à des tiers.

1.6 Evolution de la licence

L'Arcep se réserve la faculté de proposer de nouvelles versions de la présente Licence. Les Réutilisateurs pourront continuer à réutiliser les informations disponibles sous cette licence s'ils le souhaitent.

1.7 Droit applicable

Les présentes conditions d'utilisation des Fichiers Sources sont régies par le droit français.

2 Annexe 2 : Tableaux de correspondance

Les quatre tableaux ci-après donnent pour les modules A à D la correspondance entre bouton(s) de l'interface utilisateur, fonctions telle que décrites dans les schémas fonctionnels (les numéros des tableaux correspondent à ceux des schémas) et les principales classes et méthodes du code Java™. Ils ne prétendent pas à l'exhaustivité (les arguments des fonctions ne sont notamment pas indiqués) mais sont une aide à la lecture et à la compréhension du code source.

2.1 Tableau de correspondance pour le module A (prétraitement)

Bouton Classe et méthode ()	Fonction	Classes	Méthodes publiques	Méthodes privées
Préparation shapes (départements, zonage) ModuleTopo pretraitementShapes ()	A.1 Conversion	Shapefiles	conversion ()	
	A.2 Ajout d'un <i>buffer</i> aux départements	Shapefiles	creerShpDptEtendus ()	bufferDpt ()
Préparation des fichiers du réseau cuivre ModuleTopo pretraitementReseauCuivre ()	A.3 Séparation des LP	ModuleTopo	filtreDpts ()	dpt ()
	A.4 Création des PC	ModuleTopo	createPC ()	
	A.5 Zonage des PC	Shapefiles	zonagePC ()	getAMII ()
	A.6 Prétraitement NRA et SR	ModuleTopo	prepareNRA () prepareSR ()	litEtSepare ()
Création des shapefiles des ZANRA ModuleTopo createZAPCSR NRA ()	A.7 Création des ZAPC avec Voronoï	Shapefiles	createVoronoiPC ()	
	A.8 Fusion ZAPC → ZASR	Shapefiles	fusionShapes ()	
	A.9 Fusion ZASR → ZANRA			
Prétraitement réseau de collecte ModuleTopo pretraitementCollecte ()	A.10 Prétraitement collecte	ModuleTopo	separeCollecte ()	

2.2 Tableau de correspondance pour le module B (regroupement des NRA en NRO)

Bouton Classe et méthode()	Fonction	Classes méthodes publiques	Méthodes privées	Autres classes
Regroupement des NRA en NRO et création des shapefiles des ZANRO ModuleTopo regrouperNRANRO()	B.1 Modélisation du réseau cuivre	ReseauCuivre ReseauCuivre() loadNRA() loadSR() loadPC() checkPC()	communes() getNRA() getSR() createSR()	Parametres NRA SR PC PointReseau
	B.2 Création du graphe	ReseauCuivre regrouperNRACollecte()	addNRA()	
	B.3 Ajout des liens de collecte		readFichierCollecte()	
	B.4 Ajout de liens pour les NRA isolés		ajoutNRAisoles()	
	B.5 Répartition en files de priorité			
	B.6 Regroupement		regroupeMonoVoisin() regroupeMultiVoisins() regroupeSansVoisin() getVoisin()	
	B.7 Vérification de petits NRO		verificationInterZone()	
	B.8 Ecriture des fichiers de sortie		store()	
	B.9 Fusion ZANRA → ZANRO	Shapefiles fusionShapes()		

2.3 Tableau de correspondance pour le module C (tracé du réseau)

Bouton Classe méthode ()	Fonction	Classes méthodes publiques		Méthodes privées	Autres classes
Regroupement des NRA en NRO et création des shapefiles des ZANRO ModuleTopo traceReseau() <i>qui appelle</i> Shapefiles preparerGraphes()	C.1 Chargement du contour de la ZANRO étendue	Shapefiles			Parametres
	C.2 Création du réseau d'infrastructures physiques	Shapefiles		readShpReseau()	
		Reseau	Reseau() loadLineString()	getNoeud() addArete()	Parametres Node NoeudAGarder NoeudInterne Arete
	C.3 Placement du NRO		setCentre()	getNoeud()	
	C.4 Connexité du réseau		forceConnexite()	trouverPont() construitArete()	
	C5. Placement des PBO		addPC()	distanceAuCentre() keep() getNoeud() construitArete() distanceDijkstra()	
	C.6 Ecriture des fichiers intermédiaires		store()		
	C.7 Calcul du pourcentage des types de GC	Shapefiles		computePourcentageGC()	analyseGC()

2.4 Tableau de correspondance pour le module D (déploiement)

Bouton	Fonction	Classes méthodes		Classe BLO	Autres classes
Lancer la modélisation	D.1 Choix des paramètres	Parametres setListeDpts(), setListeCommunes(), setZones, setDossierResultats(), initDemande(), addDemande(), setPM(), setTransportOptique(), setCalibresLimites(), setUO(), setGC(), setNbMaxLignesPM(), setDimensionnementNRO(), setSorties()			
	D.2 Ajustement de la demande	Deploiement run() puis evaluation()	adapteDemande()		Reseau
	D.3 Création de l'arbre représentant le réseau optique			BLO() buildTree()	Parametres Reseau AreteBLOM Noeud ZAPM UO
	D.4 Simplification de l'arbre			simplification()	
	D5. Placement des points de mutualisation			posePMext() listingPMint()	
	D.6 Calcul des fibres en distribution et transport			calculDemande()	
	D.7 Définition du génie civil			setModesPose()	
	D.8 Calibres, longueurs et volumes des câbles			calculerUOAretes()	
	D.9 Calculs au niveau de la ZAPM			calculResultatsParPM()	
	D.10 Calculs au niveau de la ZANRO		immeubles()	computeAndGetUO()	