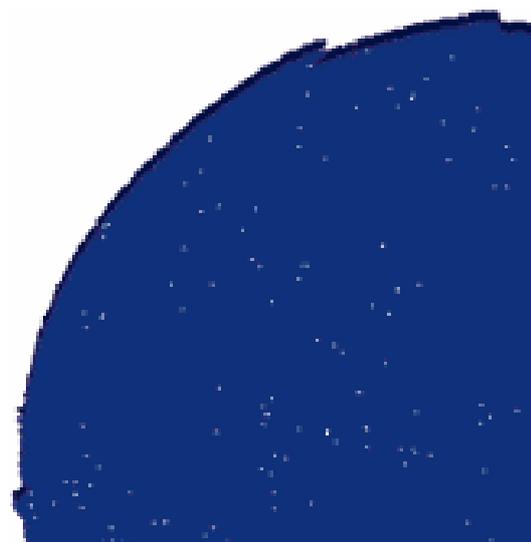


Janvier 2007

## Outils de modélisation de tracé de réseau

---

*Notice explicative*



## 1 Introduction

Afin d'éclairer ses choix de régulation, notamment le contrôle des tarifs des offres haut débit de France Télécom, l'Autorité est amenée à publier régulièrement des modèles de coût. Ceux-ci permettent d'éclairer le secteur sur les outils dont dispose l'Autorité pour effectuer ses choix de régulation.

En particulier, l'Autorité a développé, selon une approche bottom-up, un modèle réglementaire de coût de collecte qui a vocation à compléter sa connaissance de l'ensemble de la chaîne de valeur du haut débit. Il s'inscrit en effet dans un processus qui a notamment consisté à publier et mettre à jour depuis novembre 2004 un modèle réglementaire du coût de l'accès dégroupé et depuis juin 2006 un modèle de coûts des fournisseurs d'accès à Internet.

Or, une partie non négligeable des coûts des réseaux fixes est constituée de coûts de génie civil et de fourreaux, tant sur le segment de la collecte en cœur de réseau que sur celui de l'accès jusqu'aux clients finaux. Le coût du génie civil est fortement dépendant de la longueur du réseau considéré, sans exclusive d'autres facteurs comme le taux de mutualisation ou la densité urbaine.

Dans le cadre de l'élaboration de son modèle réglementaire de coût de collecte, l'Autorité a donc été amenée à développer un certain nombre d'outils topologiques lui permettant de modéliser les réseaux et la longueur du génie civil déployé par l'opérateur historique, par les opérateurs alternatifs ou plus récemment dans le cadre de réseaux d'initiative publique.

Ces outils de modélisation sont relativement techniques, tant en termes d'algorithmes utilisés, issus de la théorie des graphes, qu'en termes d'implémentation.

L'objectif du présent document, de ses annexes, et des algorithmes publiés, est de décrire les outils topologiques utilisés par l'ARCEP, ainsi que les choix de modélisation retenus.

### 1. Architecture générale

La modélisation de réseaux consiste fondamentalement à raccorder des nœuds à l'aide de segments de droite, appelés arêtes dans la suite de la notice. Les nœuds sont donnés au départ, et le modèle restitue en sortie un graphe reliant les nœuds les uns aux autres, sous certaines contraintes.

Trois outils (ou « briques ») élémentaires ont été développés pour répondre aux différents besoins de modélisation des réseaux filaires de télécommunication :

- la brique de desserte, qui construit un graphe de longueur minimale reliant l'ensemble des nœuds isolés ;
- la brique de bouclage, qui complète le graphe existant en ajoutant des arêtes qui viennent boucler progressivement le graphe ;
- la brique de réseau dorsal, qui construit un graphe partiel bouclé de longueur minimale reliant des nœuds désignés comme principaux, en passant autant que faire se peut par des nœuds secondaires.

Les trois briques sont décrites dans les parties suivantes.

### 2. Principes d'utilisation

Les briques peuvent, et souvent doivent, être combinées les unes aux autres.

Par exemple, pour modéliser un réseau de dégroupage dans une région, il est possible d'utiliser

- la brique de réseau dorsal pour construire une boucle sécurisée reliant les préfectures et villes principales,
- puis la brique de desserte pour relier les villes de taille moyenne au réseau dorsal déjà construit,
- puis la brique de bouclage pour obtenir un taux de sécurisation conforme à la pratique constatée des opérateurs.

La manière de combiner les briques dépend du réseau modélisé.

Par exemple, pour modéliser un réseau de fibre reliant les zones d'activités d'une agglomération :

- si l'objectif est de desservir les zones identifiées comme principales, la brique de réseau dorsal peut être utilisée ; certaines zones secondaires seront desservies au passage du réseau et d'autres, plus éloignées, ne le seront pas ; ce choix est probablement rationnel pour un opérateur marchand ;
- s'il s'agit d'un réseau d'initiative publique devant desservir toutes les zones, l'utilisation de la brique de desserte est plus appropriée car elle raccorde tous les nœuds ; si le réseau est supposé être sécurisé, la brique de bouclage doit ensuite être utilisée pour boucler le réseau.

La modélisation peut être imbriquée à différents niveaux hiérarchiques. À partir du réseau desservant les zones d'activité, il est possible d'injecter de nouveaux nœuds secondaires simulant l'emplacement des entreprises prospects pour des offres de raccordement sur fibre optique. L'utilisation de la brique de desserte à partir du réseau urbain simule alors une desserte point à point des entreprises dans chacune des zones.

### *3. Ingénierie et facteur de réconciliation*

Les outils utilisés élaborent des graphes en reliant des nœuds au moyen de segments de droites. En réalité, les réseaux sont tirés le plus souvent le long des routes, des rivières ou des voies de chemin de fer, qui ne sont pas strictement rectilignes. Des contraintes de reliefs, réglementaires ou environnementales peuvent donc nécessiter un contournement.

La différence entre la longueur à vol d'oiseau et la longueur de réseau nécessaire pour desservir deux nœuds dépend en général de la distance et du type de zone urbaine ou rurale. Pour modéliser au mieux des longueurs réelles de réseau, il est donc nécessaire d'appliquer un facteur de passage aux résultats du présent ensemble d'outils topologiques (voir notice économique du modèle réglementaire de coût de collecte).

Le tracé du réseau est par ailleurs nettement plus sensible aux paramètres que sa longueur totale. Un petit déplacement d'un nœud peut suffire à modifier complètement l'allure du graphe obtenu, alors que la longueur du réseau varie d'au plus deux fois la valeur du déplacement initial.

Contrairement à la longueur du réseau modélisé, le tracé théorique n'a pas vocation à modéliser le tracé d'un réseau réel. Le tracé modélisé doit être compris comme un simple intermédiaire de calcul de la longueur totale du réseau.

### *4. Précautions d'interprétation*

L'ARCEP invite les acteurs à la plus grande prudence dans l'interprétation des résultats bruts issus des modélisations.

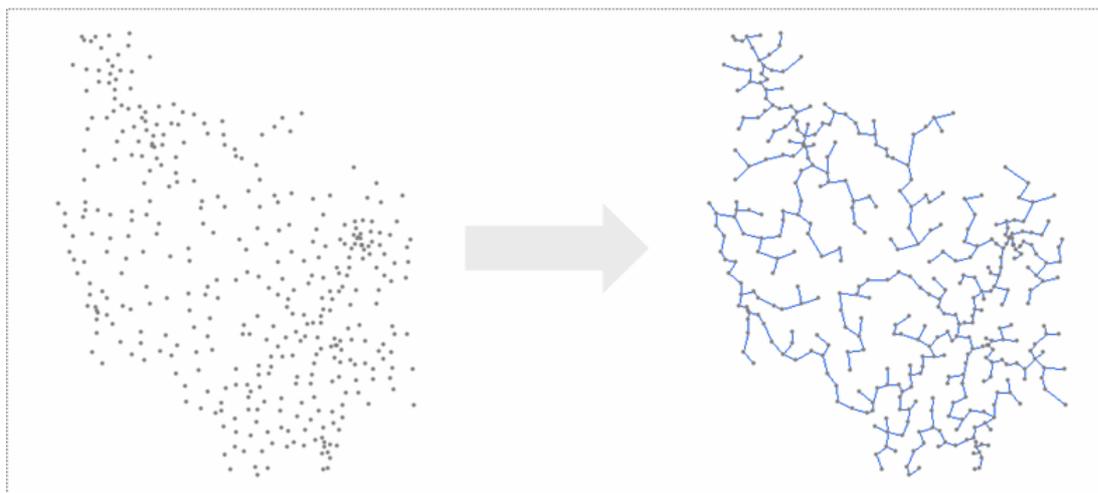
La modélisation du génie civil suppose de faire des choix d'architecture : un réseau de boucle locale point à point n'a pas la même structure qu'un réseau interurbain maillé. Les briques élémentaires présentées ci-après peuvent être combinées de manière pertinente en fonction du réseau et des choix de modélisation retenus.

La modélisation du réseau n'est dans le cas général qu'un élément d'un modèle de coût plus complexe, prenant notamment en compte les coûts de déploiement, les équipements actifs, la maintenance ou les coûts commerciaux, la durée d'amortissement des actifs. Ces choix de modélisation peuvent avoir des effets structurant sur le résultat final.

Structurellement, un modèle simplifie et donne des ordres de grandeur, mais ne décrit pas complètement la réalité ; son utilisation suppose en général un calage et une réconciliation avec des données observables, par exemple issues de la comptabilité ou des déploiements réels des acteurs.

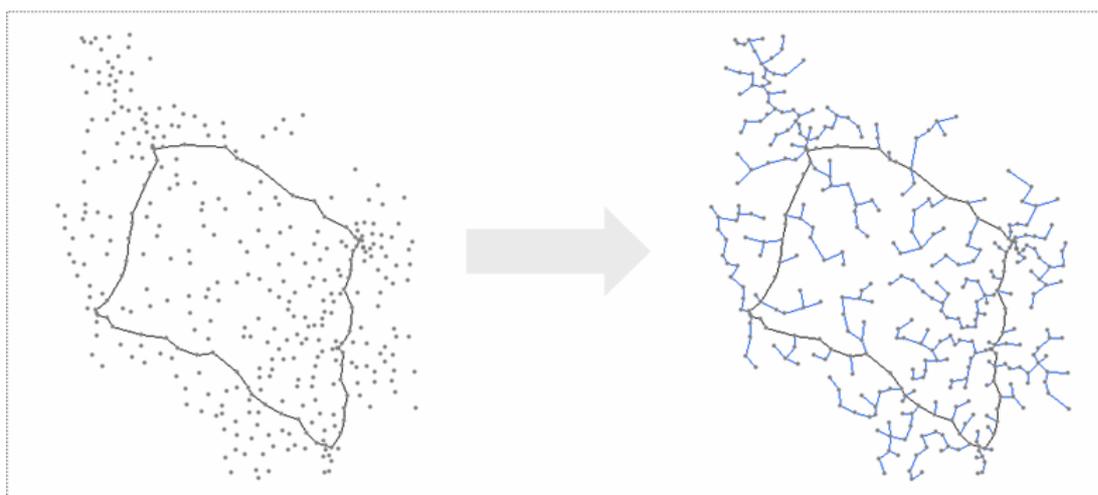
## 2 Brique A : desserte

La brique de desserte permet de relier entre eux les nœuds fournis par l'utilisateur au moyen d'un graphe ne contenant pas de boucle. L'outil se fonde sur un algorithme d'arbre couvrant minimal, et vise ainsi à minimiser la longueur totale du graphe qui permet de relier l'ensemble des nœuds, c'est à dire la somme des longueurs des arêtes nécessaires.



L'algorithme d'arbre couvrant minimal implémenté dans la brique de desserte correspond à l'algorithme de Kruskal. Celui-ci consiste à trier les arêtes possibles par ordre de longueur croissante, puis à les ajouter une par une au graphe en cours de construction, en vérifiant à chaque fois que l'ajout ne fait pas apparaître de boucle. Pour  $n$  nœuds, la complexité de l'algorithme de Kruskal est globalement en  $n \cdot \log(n)$ .

Au cas où l'utilisateur renseigne, en entrée, un graphe représentant le tracé partiel d'un réseau en cours de modélisation, reliant un ou plusieurs sous-ensembles des nœuds, l'outil permet de modéliser le graphe nécessaire pour relier les autres nœuds isolés, au moyen de tracés connexes ne contenant pas de boucle tout en minimisant la longueur totale de cette extension. Dans ce cas, l'algorithme considère que le (ou les) sous-ensemble(s) de nœuds préalablement reliés comme un ou plusieurs nœud(s) unique(s).



La brique de desserte peut donc être utilisée :

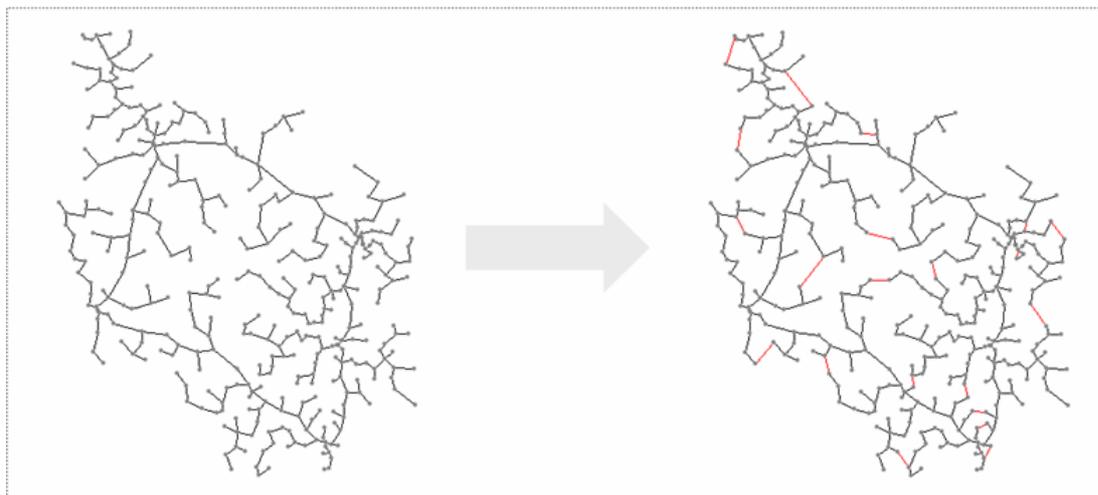
- soit directement en ne renseignant qu'un ensemble de nœuds ;
- soit en renseignant un ensemble de nœuds et un graphe partiel, par exemple obtenu avec la brique de réseau dorsal : l'outil permet alors de relier les nœuds isolés au réseau dorsal.

Les spécifications techniques de la brique A de desserte sont détaillées en Annexe A.

### 3 Brique B : bouclage

La brique de bouclage permet de boucler le graphe renseigné en entrée par l'utilisateur, en ajoutant progressivement des arêtes qui créent des cycles.

Pour chaque arête ajoutée au graphe, un nouveau cycle est formé ; un sous-ensemble de nœuds supplémentaire appartient désormais à une boucle. Tout cycle nouvellement créé est nécessairement adjacent à un cycle existant, sauf si le graphe initial n'est pas bouclé, auquel cas l'outil détermine un premier cycle.



Le degré de bouclage varie entre deux situations : le réseau en « étoile » non bouclé, et le réseau complètement maillé. Afin de refléter la diversité des situations, le niveau de bouclage cible du tracé modélisé est paramétrable par l'utilisateur. Deux indices significatifs ont ainsi été retenus pour quantifier le degré de bouclage d'un graphe ; ces indices sont présentés en Annexe A.

L'utilisateur renseigne en paramètres d'entrée de la brique la valeur cible de l'indice retenu. L'outil rajoute progressivement des cycles au graphe jusqu'à ce que l'ajout d'une arête entraîne que l'indice atteigne sa valeur cible.

L'algorithme implémenté dans la brique de bouclage consiste à évaluer, pour chaque arête permettant potentiellement de créer un cycle adjacent à un cycle existant, quel est l'apport global en termes de bouclage pour les nœuds qui n'appartenaient pas à une boucle jusqu'alors, puis de retenir l'arête pour laquelle cet apport est le plus important. L'utilisateur peut en outre décider que l'algorithme réalise un arbitrage entre l'apport d'une arête en termes de bouclage et le poids de l'arête en question, en évaluant pour chaque arête potentiellement « bouclante » le quotient [apport de bouclage / poids] : c'est une option à choisir au lancement de la brique. Pour  $n$  nœuds, la complexité de l'algorithme de Bouclage est globalement en  $n \cdot \log(n)$ .

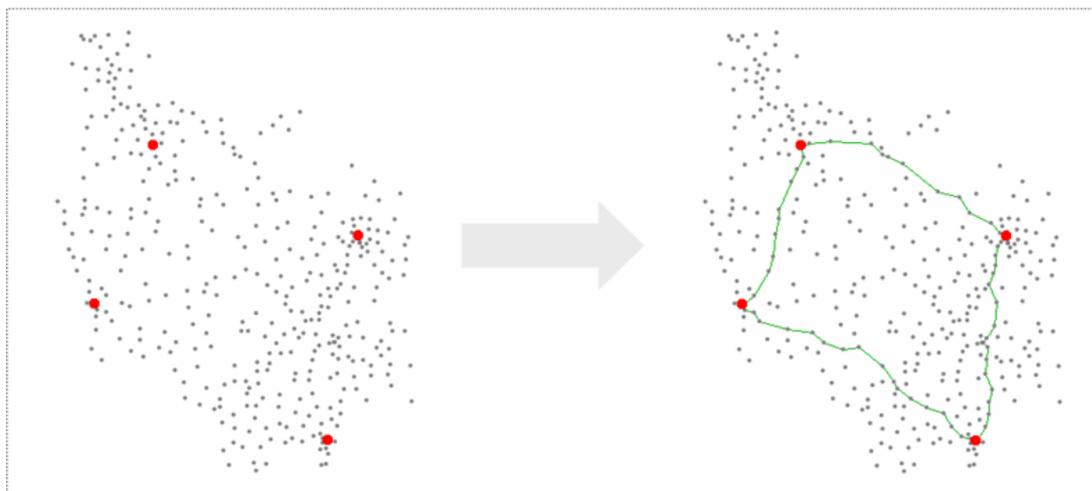
La brique de bouclage ne peut être utilisée qu'en renseignant au préalable un ensemble de nœuds et un graphe partiel, obtenu par exemple avec la brique de desserte ou la brique de réseau dorsal.

Les spécifications techniques de la brique B de bouclage sont détaillées en Annexe A.

### 4 Brique C : réseau dorsal

La brique de réseau dorsal permet de représenter le graphe partiel reliant entre eux des nœuds renseignés comme appartenant à un niveau hiérarchique supérieur, et passant par un certain nombre d'autres nœuds.

L'outil se fonde sur un algorithme de plus court chemin, et vise ainsi à obtenir un graphe de longueur minimale reliant entre eux l'ensemble des nœuds « supérieurs » et desservant, autant que faire se peut, des nœuds intermédiaires. Plus spécifiquement, l'outil détermine dans un premier temps les couples de nœuds « supérieurs » à relier deux à deux, puis, pour chaque couple, construit le tracé de plus court chemin en passant par des nœuds intermédiaires.



Le graphe obtenu en sortie de cet outil, généralement bouclé, n'est le plus souvent que partiel dans la mesure où il ne relie pas tous les nœuds renseignés en entrée ; il est alors possible d'avoir recours à la brique de desserte pour le compléter.

Par ailleurs, l'application de cette brique n'a d'effet que s'il y a au moins deux nœuds distincts identifiés comme « supérieurs » dans la liste renseignée en entrée par l'utilisateur.

L'algorithme de plus court chemin implémenté dans la brique de réseau dorsal correspond à l'algorithme de Dijkstra. Celui-ci consiste à ajouter un à un des arêtes au graphe en cours de construction, en réévaluant à chaque fois la distance qui sépare le nœud de départ de chaque nœud non encore relié. Pour  $n$  nœuds, la complexité de l'algorithme de Dijkstra est globalement en  $n \cdot \log(n)$ .

La brique de réseau dorsal ne tient pas compte d'un éventuel graphe partiel reliant déjà un sous-ensemble de nœuds. Il ne faut renseigner qu'un ensemble de nœuds (avec certains identifiés comme « supérieurs ») pour utiliser cette brique.

Les spécifications techniques de la brique C de réseau dorsal sont détaillées en Annexe A.

**Annexe A - DESCRIPTION TECHNIQUE DES OUTILS**

*1 Principe général*

Les trois briques du modèle topologique de réseau de collecte, décrites dans cette notice, ont été développées en tant qu'outils utilisables dans l'environnement logiciel MapInfo®. Les algorithmes implémentés dans ces briques se fondent sur le travail d'étude mené par un chercheur en algorithmique et théorie des graphes sollicité par l'ARCEP.

MapInfo® est un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG), c'est à dire un programme informatique permettant de gérer des bases de données géographiques, de concevoir des cartes à partir de ces bases et de mener des analyses géographiques.

Pour des raisons d'optimisation, les algorithmes implémentés dans chaque brique ont été développés en C++ sous forme de bibliothèques dynamiques « .dll » (pour Dynamic Link Library) qui regroupent pour chaque brique l'ensemble des fonctions utilisées. Lors de l'exécution dans l'environnement MapInfo® d'un des outils, les routines nécessaires à l'algorithme, contenues dans le fichier « .dll » correspondant, sont appelées. Le code source des « .dll » est disponible sur demande auprès de l'ARCEP.

*2 Structure des données*

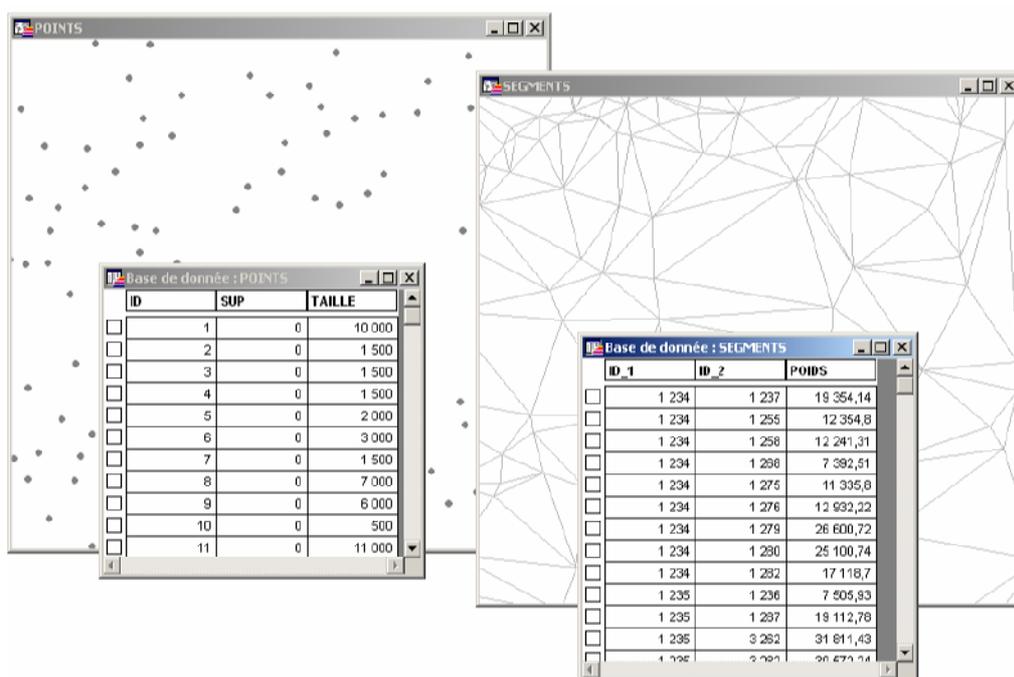
En tant qu'outils intégrés à MapInfo®, et donc uniquement utilisables dans cet environnement logiciel, les briques du modèle topologique se fondent sur la même structure de données que celle utilisée dans le SIG MapInfo® pour la représentation vectorielle.

Les fichiers utilisés par MapInfo®, plus communément appelés « tables », peuvent être représentés comme des bases de données auxquelles sont attachés des éléments géographiques.

À chaque élément d'un fichier (ou table) MapInfo, correspondent à la fois des informations qualitatives (champs numériques, chaînes de caractères etc.) et des informations géographiques. Un élément géographique peut être par exemple un simple point, repéré par ses coordonnées [x,y], un segment de droite, repéré par ses deux extrémités, un polygone etc.

Les briques du modèle de tracé de réseau utilisent deux types de données vectorielles :

- des données de type point, pour représenter les nœuds à relier ;
- des données de type segment de droite, afin de représenter les tracés de réseau : à une table correspond ainsi un tracé de réseau, en cours de formation ou achevé.



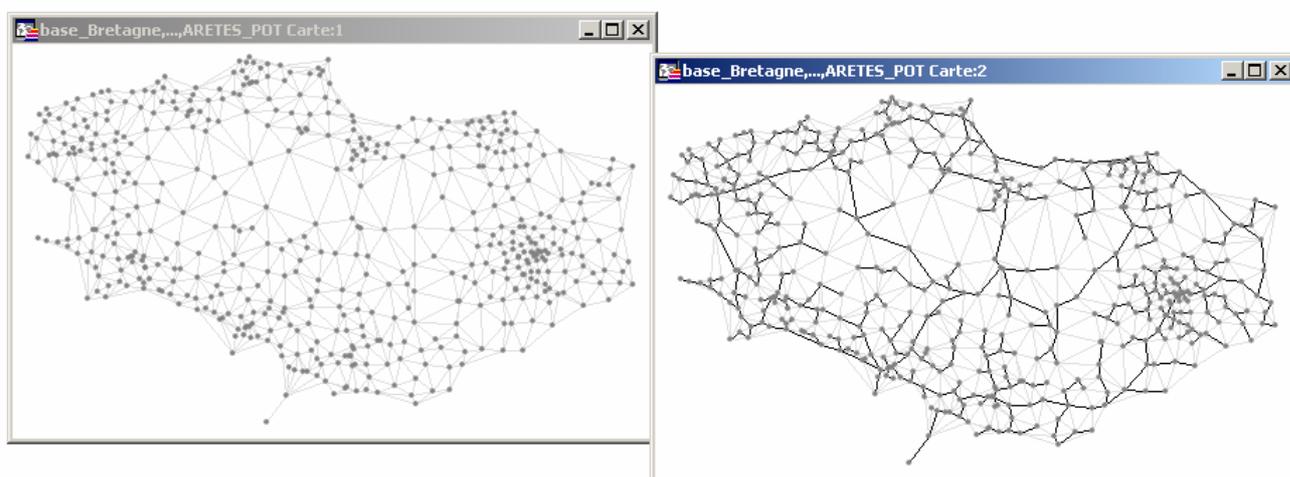
Les briques ne sont pas liées à un système de coordonnées terrestres particulier, et peuvent donc fonctionner quel que soit le système de coordonnées retenu par l'utilisateur. Les tables de sortie sont alors renseignées dans le même système de coordonnées terrestre que les tables d'entrée.

Selon la brique qui est utilisée, un ou plusieurs champs de type « base de données » sont obligatoires pour les tables renseignées en entrée. Par exemple, chaque nœud doit être repéré par un identifiant unique, chaque arête d'un tracé de réseau doit être repéré par les identifiants de ses deux nœuds extrémités. Ces champs obligatoires sont détaillés pour les trois briques dans les sections suivantes.

### 3 Recours à un ensemble d'arêtes potentielles

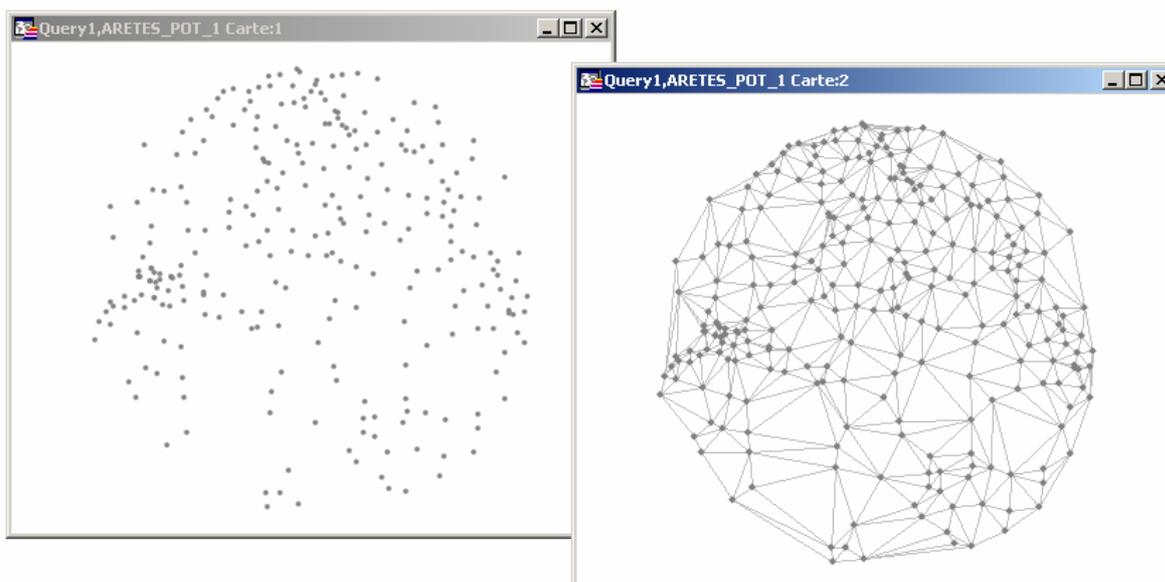
Les arêtes retenues dans les tracés obtenus en sortie de chaque brique ne sont pas directement créées par ces outils. Chaque brique vient en fait puiser dans un ensemble d'arêtes potentielles. Une table contenant l'ensemble des arêtes « potentielles » doit ainsi être renseignée en entrée de chacune des trois briques.

La liste des arêtes potentielles peut être créée par l'utilisateur, s'il connaît les chemins éventuels que pourrait emprunter un réseau.



Par défaut, un outil a été développé, dans le même environnement logiciel MapInfo®, permettant de générer automatiquement, pour tout ensemble de nœuds à relier, un ensemble d'arêtes potentielles.

Cet outil se fonde sur l'algorithme de triangulation de Delaunay qui fournit, pour un ensemble de points, l'unique triangulation, c'est-à-dire l'unique ensemble de triangles, telle qu'un cercle passant par les trois points d'un triangle ne contienne aucun autre point. Les côtés des triangles obtenus dans cette triangulation correspondent aux arêtes potentielles.



La détermination au préalable d'un ensemble d'arêtes potentielles présente un triple intérêt :

- cela permet de gagner en temps d'exécution lors d'une modélisation enchaînant au moins deux briques, dans la mesure où l'ensemble d'arêtes potentielles est déterminé une seule fois, au début de la modélisation ;
- l'algorithme implémenté dans la brique de réseau dorsal est désormais forcé, pour chaque couple de nœuds importants à relier, de passer par des nœuds intermédiaires ;
- entre l'exécution de deux briques, l'utilisateur peut modifier à souhait la table contenant les arêtes potentielles, par exemple en supprimant certaines, ou en modifiant leurs poids (i.e. leurs longueurs) respectifs, ce qui influe directement sur l'allure des tracés obtenus en fin de modélisation.

À l'issue de la triangulation, il existe, pour chaque nœud à relier, au moins deux arêtes potentielles le raccordant à d'autres nœuds. Si l'utilisateur n'apporte aucune modification à la base d'arêtes potentielles, le tracé obtenu en sortie de la brique de desserte raccordera donc systématiquement l'ensemble des nœuds à relier.

#### 4 Description des tables entrée / sortie

Toutes les tables nécessaires en entrée d'une brique doivent être « chargées » dans l'espace de travail MapInfo® avant utilisation de la brique. Soit l'utilisateur a ouvert les fichiers en question, soit il s'agit de tables obtenues en sortie de briques qui viennent d'être utilisées.

Selon la brique utilisée, il y a deux types de sorties possibles : soit est obtenue en sortie de brique une nouvelle table, soit il y a juste la mise à jour d'une des tables renseignées en entrée de brique, et donc pas de nouvelle table créée.

À noter qu'il n'est pas nécessaire que les tables renseignées en entrée de briques aient des noms particuliers : l'utilisateur précise, au lancement de chaque brique, quelles tables utiliser parmi celles qui sont ouvertes. En revanche, quand une table est créée en sortie, un nom spécifique lui est attribué, selon la brique en question.

Chaque brique peut être utilisée indépendamment des deux autres. Toutefois, comme exposé précédemment, la modélisation du tracé d'un réseau peut nécessiter d'enchaîner les briques dans un ordre particulier.

#### Tables d'entrée communes aux trois briques

Le modèle topologique présenté dans cette notice permet de modéliser le tracé d'un réseau de collecte reliant un ensemble de nœuds renseignés en entrée par l'utilisateur.

Quelle que soit la brique utilisée, la table contenant l'ensemble des nœuds à relier doit ainsi être renseignée en entrée.

La table « nœuds à relier » doit avoir la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **point** [x,y]
- champs qualitatifs obligatoires a minima : - champ unique « **ID** » [entier]

Comme présenté au paragraphe précédent, la table contenant l'ensemble des arêtes potentielles correspondant aux nœuds à relier doit également être renseignée en entrée de chacune des trois briques.

La table « arêtes potentielles » doit avoir la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **segment de droite**
- champs qualitatifs obligatoires a minima : - identifiant d'un nœud extrémité « **ID\_1** » [entier]  
- identifiant de l'autre nœud extrémité « **ID\_2** » [entier]  
- poids de l'arête « **POIDS** » [flottant]

Pour chaque arête, les champs ID\_1 et ID\_2 correspondent respectivement aux champs ID des deux nœuds extrémités de l'arête.

La table obtenue en sortie de l'outil de détermination des arêtes potentielles présente cette structure. Par défaut, le champ POIDS correspond à la longueur de l'arête. Ce champ POIDS peut être modifié à convenance par l'utilisateur, par exemple pour refléter un tracé plus long entre deux nœuds.

#### Tables d'entrée / sortie pour la brique A de desserte

Comme décrit précédemment, l'utilisateur a la possibilité de renseigner en entrée de la brique de desserte, le graphe d'un tracé en cours de modélisation.

#### **Cas 1**

Si l'utilisateur souhaite modéliser directement le tracé d'un réseau de desserte à partir de l'ensemble des nœuds à relier, les structures des deux tables à renseigner en entrée, nœuds à relier et arêtes potentielles, sont celles décrites ci-dessus.

La table obtenue en sortie est une nouvelle table, présentant la même structure que la table d'arêtes potentielles.

La table « tracé de desserte » a la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **segment de droite**
- champs qualitatifs : - identifiant d'un nœud extrémité « **ID\_1** » [entier]  
- identifiant de l'autre nœud extrémité « **ID\_2** » [entier]  
- longueur de l'arête « **LONGUEUR** » [flottant]

Pour chaque arête, les champs ID\_1 et ID\_2 correspondent respectivement aux champs ID des deux nœuds extrémités de l'arête ; le champ LONGUEUR correspond à la longueur de l'arête, et peut donc différer du champ POIDS de l'arête potentielle équivalente.

#### **Cas 2**

Si l'utilisateur souhaite compléter, au moyen de la brique A de desserte, le tracé d'un réseau en cours de modélisation, il lui faut renseigner trois tables en entrée de la brique :

- les deux tables nœuds à relier et arêtes potentielles telles que décrites ci-dessus ;
- la table contenant les arêtes du tracé du réseau en cours de modélisation.

La table « tracé du réseau en cours de modélisation » a la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **segment de droite**
- champs qualitatifs : - identifiant d'un nœud extrémité « **ID\_1** » [entier]  
- identifiant de l'autre nœud extrémité « **ID\_2** » [entier]  
- longueur de l'arête « **LONGUEUR** » [flottant]

Pour chaque arête, les champs ID\_1 et ID\_2 correspondent respectivement aux champs ID des deux nœuds extrémités de l'arête ; le champ LONGUEUR correspond à la longueur de l'arête.

La table obtenue en sortie est une nouvelle table, présentant la même structure que les autres tables contenant des arêtes. Cette table reprend toutes les arêtes de la table « tracé du réseau en cours de modélisation » et y ajoute les nouvelles arêtes de desserte.

La table « tracé complété avec desserte » a la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **segment de droite**

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ champs qualitatifs :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifiant d'un nœud extrémité « <b>ID_1</b> » [entier]</li> <li>- identifiant de l'autre nœud extrémité « <b>ID_2</b> » [entier]</li> <li>- longueur de l'arête « <b>LONGUEUR</b> » [flottant]</li> </ul> </li> </ul>
--

Pour chaque nouvelle arête ajoutée à la table, les champs ID\_1, ID\_2 et POIDS sont directement complétés.

#### Tables d'entrée / sortie pour la brique B de bouclage

Il est nécessaire de disposer d'un tracé de réseau en cours de modélisation pour utiliser la brique B de bouclage, dans la mesure où cette brique va venir compléter ce réseau en rajoutant progressivement des arêtes afin de créer des boucles.

L'utilisateur doit donc renseigner trois tables en entrée de la brique :

- les deux tables nœuds à relier et arêtes potentielles telles que décrites ci-dessus ;
- la table contenant les arêtes du tracé du réseau en cours de modélisation.

La table « tracé du réseau en cours de modélisation » a la forme suivante :

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ type vectoriel de donnée géographique : - <b>segment de droite</b></li> <li>▪ champs qualitatifs :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifiant d'un nœud extrémité « <b>ID_1</b> » [entier]</li> <li>- identifiant de l'autre nœud extrémité « <b>ID_2</b> » [entier]</li> <li>- longueur de l'arête « <b>LONGUEUR</b> » [flottant]</li> </ul> </li> </ul>
--

L'algorithme implémenté dans la brique a été développé pour permettre en option de privilégier le bouclage autour de nœuds plus importants. Cela permet par exemple de refléter le fait que les réseaux urbains qui relient des nœuds plus importants sont plus sécurisés que les réseaux ruraux.

S'il le souhaite, l'utilisateur peut donc ajouter un champ « SUP » [entier] à la table « nœuds à relier ».

Le champ SUP n'est pas obligatoire pour l'exécution de la brique B de bouclage ; toutefois, dès qu'il est renseigné, la brique privilégie le bouclage autour des nœuds pour lesquels le champ SUP vaut 1.

La table obtenue en sortie est une nouvelle table, présentant la même structure que les autres tables contenant des arêtes. Cette table reprend toutes les arêtes de la table « tracé du réseau en cours de modélisation » et y ajoute les nouvelles arêtes permettant le bouclage.

La table « tracé complété avec bouclage » a la forme suivante :

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ type vectoriel de donnée géographique : - <b>segment de droite</b></li> <li>▪ champs qualitatifs :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifiant d'un nœud extrémité « <b>ID_1</b> » [entier]</li> <li>- identifiant de l'autre nœud extrémité « <b>ID_2</b> » [entier]</li> <li>- longueur de l'arête « <b>LONGUEUR</b> » [flottant]</li> </ul> </li> </ul>
--

Pour chaque arête, les champs ID\_1 et ID\_2 correspondent respectivement aux champs ID des deux nœuds extrémités de l'arête ; le champ LONGUEUR correspond à la longueur de l'arête, et peut donc différer du champ POIDS de l'arête potentielle équivalente.

Comme cela a été présenté dans la partie relative à la brique de bouclage, le degré de bouclage du tracé modélisé est paramétrable par l'utilisateur et ce, afin de refléter la diversité des situations.

L'utilisateur doit ainsi renseigner en paramètres d'entrée le niveau de bouclage cible qu'il souhaite obtenir pour le tracé modélisé.

Trois indices de bouclage peuvent être évalués lors de l'exécution de la brique :

- un premier indice, toujours disponible, qui reflète le niveau de bouclage en nombre de nœuds reliés ;
- un deuxième indice, disponible dans certains cas décrits ci-dessous, qui reflète un niveau de bouclage prenant en compte le fait que les nœuds peuvent avoir des « tailles » relatives différentes ;
- un troisième indice, disponible dans les mêmes conditions que le deuxième, qui reflète un niveau de bouclage ne concernant que les nœuds d'une certaine « taille ».

Quand il opte pour le suivi de l'un des indices, l'utilisateur renseigne au début de l'exécution de la brique la valeur cible, en pourcentage, de l'indice en question. L'algorithme s'adapte alors pour privilégier soit les arêtes qui réalisent des boucles permettant de sécuriser le plus grand nombre de nœuds non sécurisés jusqu'alors, soit les arêtes qui maximisent la somme des « tailles » des nœuds nouvellement sécurisés.

Les deuxième et troisième indices ne sont disponibles que si la table « nœuds à relier » renseignée en entrée de la brique contient un champ numérique permettant d'évaluer les tailles relatives des différents nœuds.

S'il le souhaite, l'utilisateur peut donc ajouter un champ « TAILLE » [entier] à la table « nœuds à relier ».

Le champ TAILLE n'est pas obligatoire pour l'exécution de la brique de bouclage. S'il n'est pas présent, l'utilisateur ne peut qu'avoir recours au premier indice ; s'il est présent, l'utilisateur peut opter pour le second ou le troisième indice.

Quelle que soit la situation, l'algorithme implémenté dans la brique de bouclage s'arrête quand un indice atteint sa valeur cible, ou quand il n'y a plus d'arête potentielle à tester.

Les indices ne sont pas exclusifs : si les trois indices sont disponibles, c'est-à-dire si la table « nœuds à relier » contient un champ TAILLE, l'utilisateur peut choisir d'utiliser un ou plusieurs indice(s) : quand deux ou trois indices sont retenus, l'algorithme privilégie les arêtes qui maximisent la somme des « tailles » des nœuds nouvellement sécurisés, et s'arrête dès que l'un des indices atteint sa valeur cible.

Deux options supplémentaires ont été introduites dans la brique de bouclage, afin de refléter un peu plus la diversité des situations.

Quand un champ SUP est renseigné dans la table « nœuds à relier », c'est-à-dire dès lors que certains nœuds sont considérés comme plus importants que les autres, il est possible de représenter la situation où ces nœuds importants sont déjà reliés entre eux par un réseau sécurisé d'un niveau hiérarchique supérieur, non modélisé.

L'utilisateur peut ainsi opter de considérer les nœuds pour lesquels le champ SUP vaut 1 comme étant déjà reliés entre eux.

Dans la mesure où, avant l'exécution de la brique de bouclage, tous les nœuds sont déjà reliés entre eux, la sécurisation peut être considérée comme une démarche optionnelle, pour laquelle des arbitrages doivent être pris en particulier en prenant en compte les longueurs des tracés supplémentaires nécessaires pour sécuriser.

L'utilisateur peut ainsi opter de considérer que, à chaque itération de l'algorithme, un arbitrage est réalisé entre le gain de sécurisation apporté par une arête potentiellement sécurisante (en termes de maximisation du nombre ou de la somme des « tailles » des nœuds nouvellement sécurisés) et son poids (au sens du champ POIDS de la table « arêtes potentielles », qui peut être différent de la longueur de l'arête).

#### Tables d'entrée pour la brique de réseau dorsal

La brique de réseau dorsal ne peut être utilisée qu'en tant que première brique, avant le recours éventuel aux briques de desserte ou de bouclage.

L'utilisateur doit alors renseigner en entrée les deux tables nœuds à relier et arêtes potentielles, telles que définies ci-dessus, à l'exception d'un champ « SUP » [entier] supplémentaire pour la table nœuds à relier permettant d'identifier les nœuds importants, pour lesquels le champ SUP vaut 1, qui seront reliés entre eux via des nœuds intermédiaires.

La table « nœuds à relier » doit alors avoir la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **point** [x,y]
- champs qualitatifs obligatoires a minima : - champ unique « **ID** » [entier]  
- champ « **SUP** » [entier]

La table obtenue en sortie est une nouvelle table, présentant la même structure que la table d'arêtes potentielles.

La table « tracé de réseau dorsal » a la forme suivante :

- type vectoriel de donnée géographique : - **segment de droite**
- champs qualitatifs : - identifiant d'un nœud extrémité « **ID\_1** » [entier]

- identifiant de l'autre nœud extrémité « **ID\_2** » [entier]
- longueur de l'arête « **LONGUEUR** » [flottant]

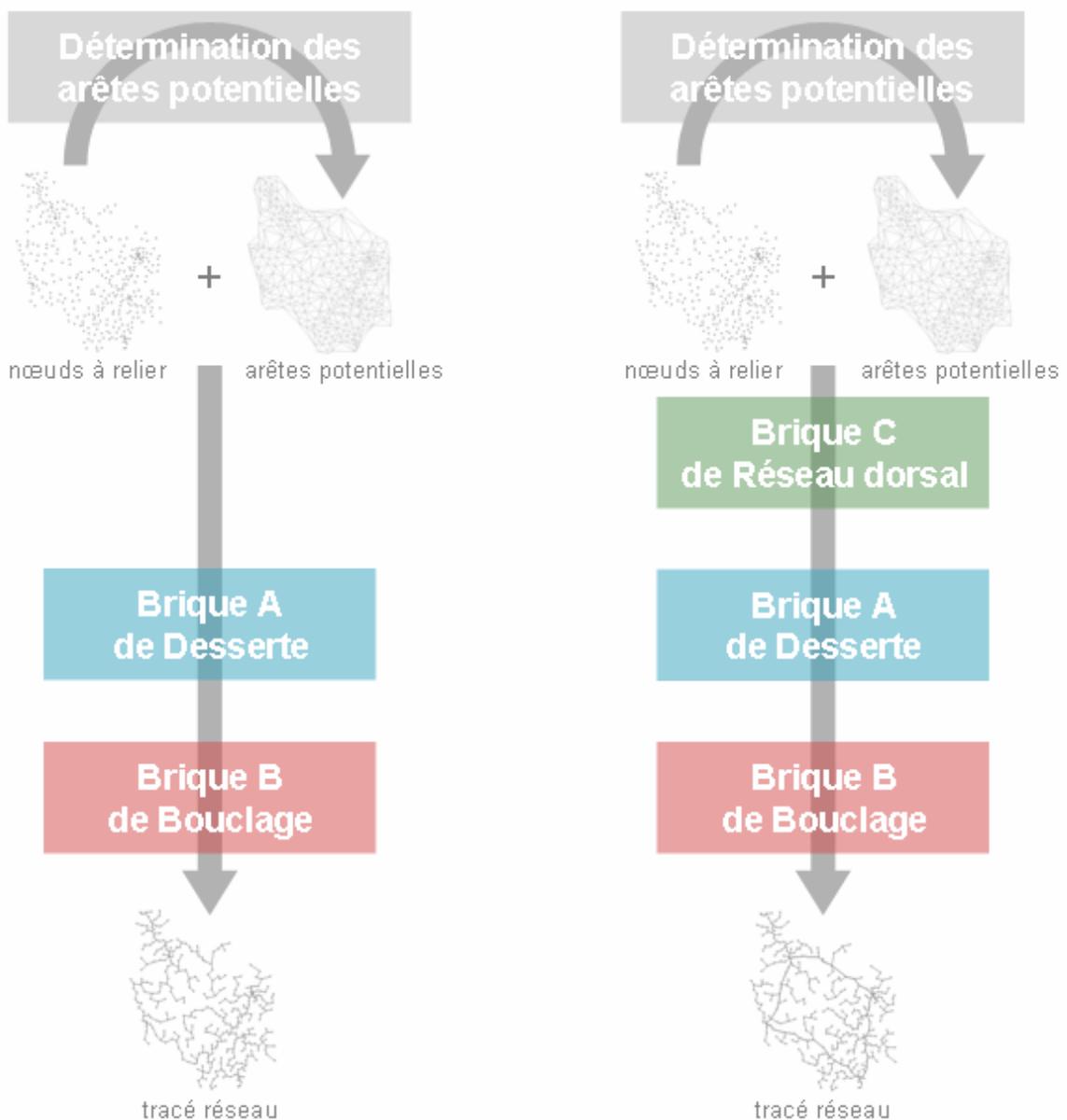
Pour chaque arête, les champs ID\_1 et ID\_2 correspondent respectivement aux champs ID des deux nœuds extrémités de l'arête ; le champ LONGUEUR correspond à la longueur de l'arête, et peut donc différer du champ POIDS de l'arête potentielle équivalente.

### Récapitulatif

Le schéma ci-dessous illustre deux exemples d'agencement des différents outils, qui sont détaillés respectivement dans les annexes B et C :

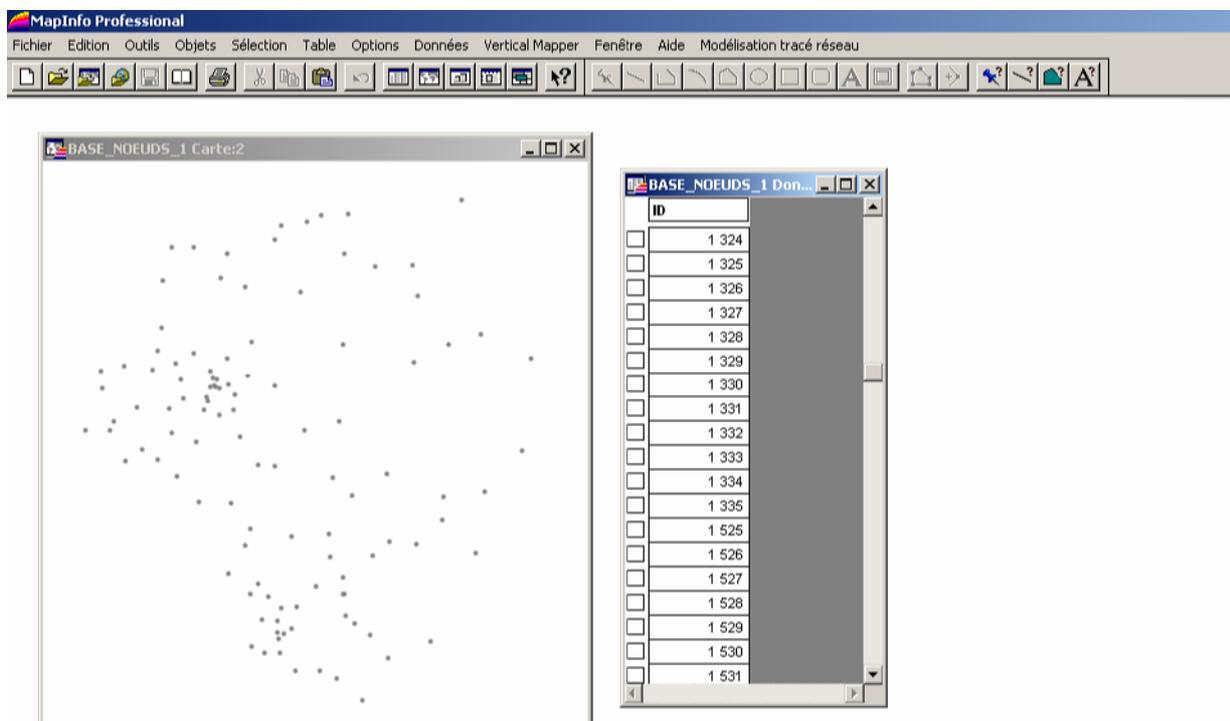
exemple 1 → cf. Annexe B

exemple 2 → cf. Annexe C



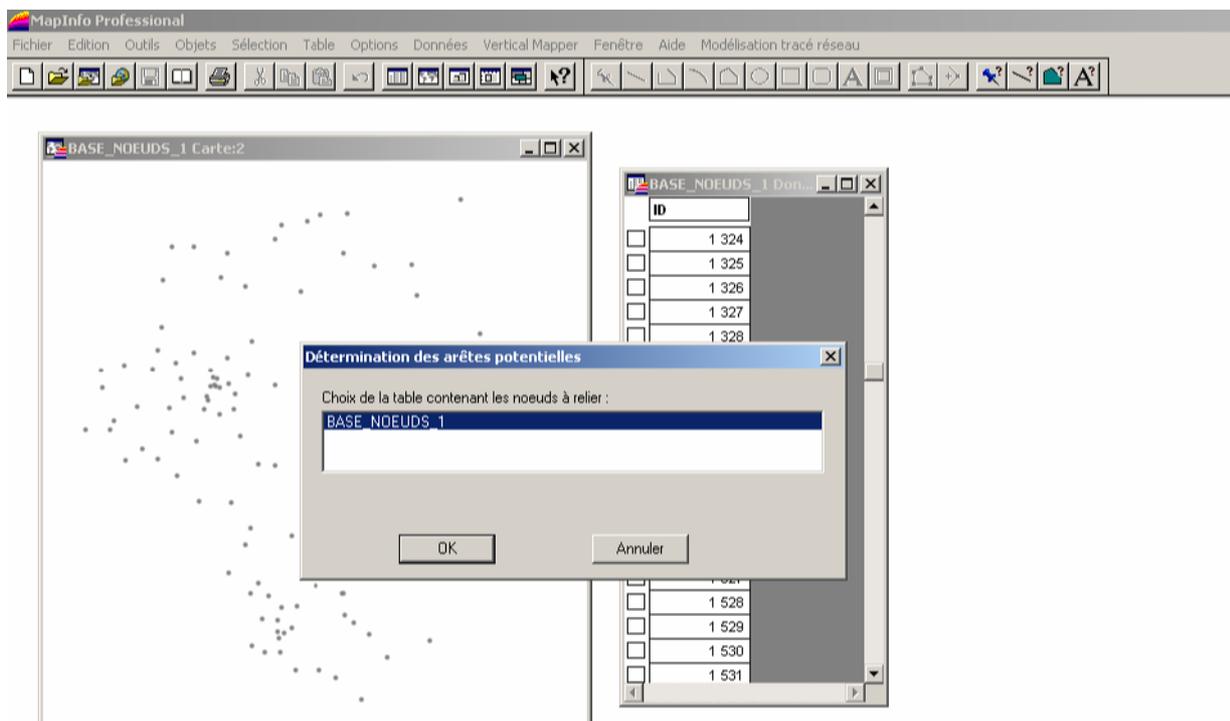
**Annexe B - EXEMPLE 1 : UTILISATION SUCCESSIVE DES BRIQUES A – B**

La table contenant les nœuds à relier, nommée BASE\_NOEUDS\_1 dans cet exemple, ne contient qu'un champ ID :



*1 Utilisation de l'outil de détermination des arêtes potentielles*

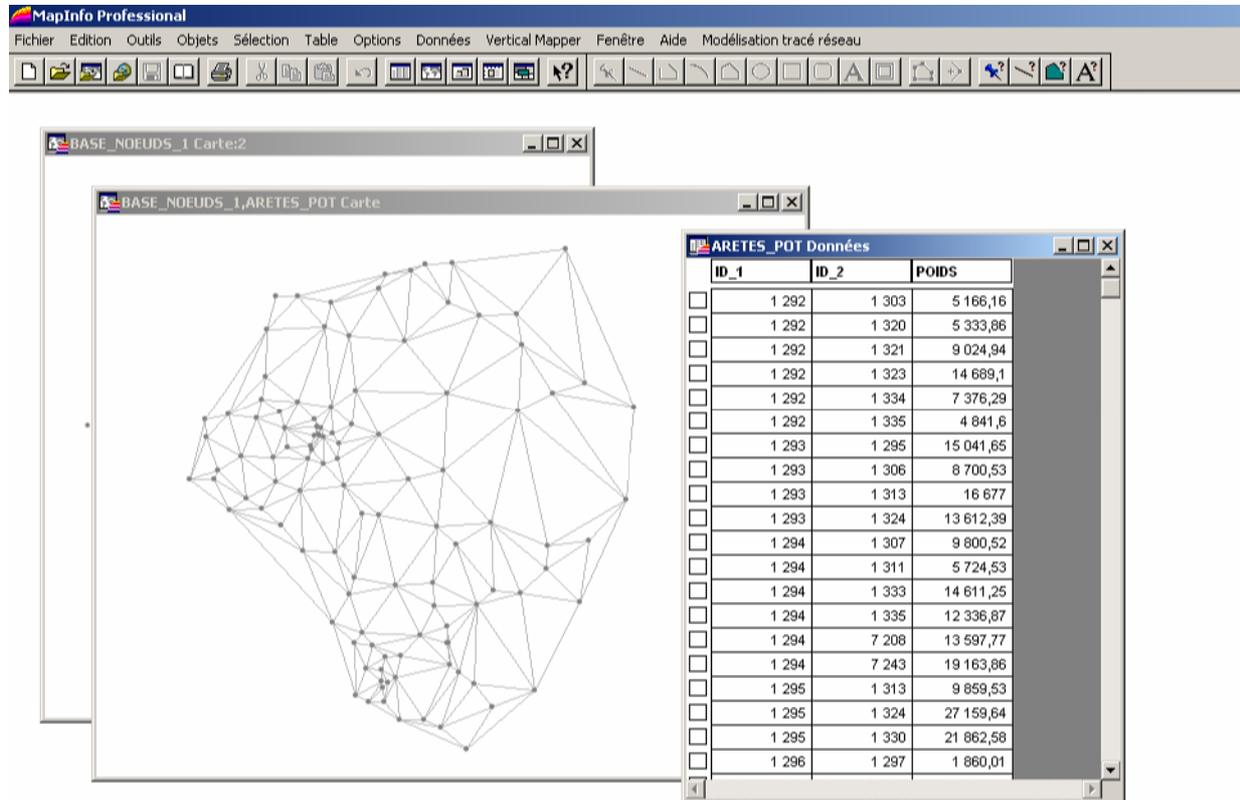
Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez l'outil « Détermination arêtes potentielles ». Sélectionnez alors la table contenant les nœuds à relier BASE\_NOEUDS\_1 puis appuyez sur [OK] :



Pour une meilleure performance, il est recommandé de travailler dans les disques durs locaux plutôt que dans les répertoires partagés.

À noter que s'il n'y a pas de champ ID dans la table contenant les nœuds à relier, l'outil en rajoute un et attribue un ID unique à chaque élément de la table. Par ailleurs, pour des raisons techniques, le nombre de nœuds à relier que peut contenir la table est limité à 3000.

Le résultat, consistant en un ensemble d'arêtes colorées en gris, est sauvé dans une table nommée ARETES\_POT :

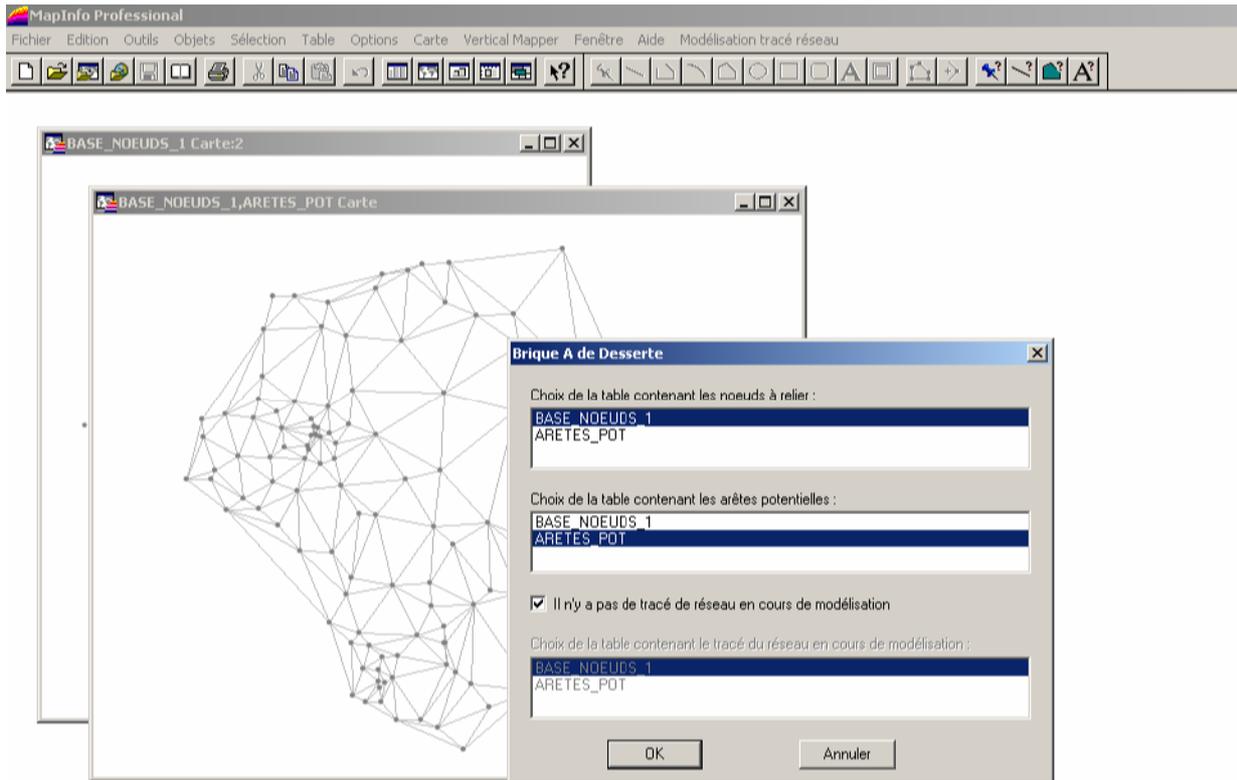


Le champ POIDS de la table de sortie ARETES\_POT correspond par défaut à la longueur en mètre de l'arête.

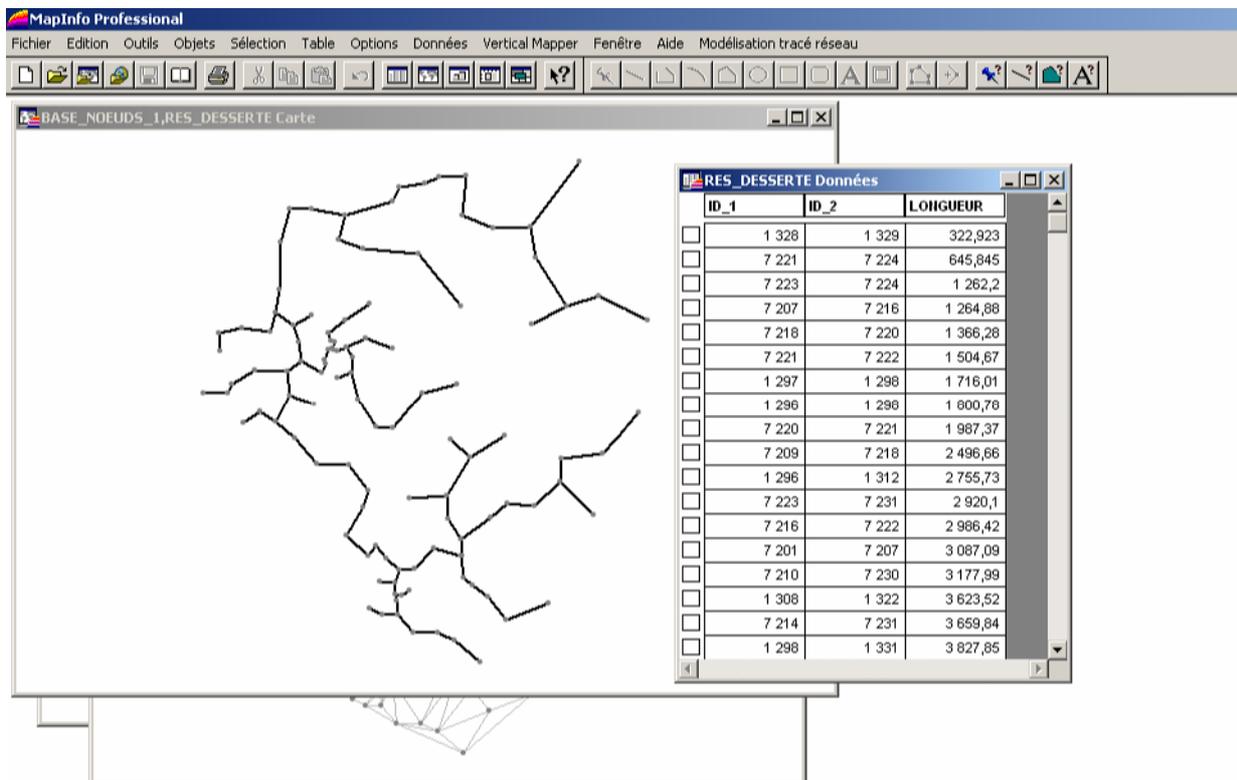
## 2 Utilisation de la brique A de desserte

Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez la brique A « Desserte ».

Dans la mesure où il n'y a pas de tracé de réseau en cours de modélisation, sélectionnez uniquement les tables contenant les nœuds à relier, BASE\_NOEUDS\_1, et les arêtes potentielles, ARETES\_POT, puis appuyez sur [OK] :



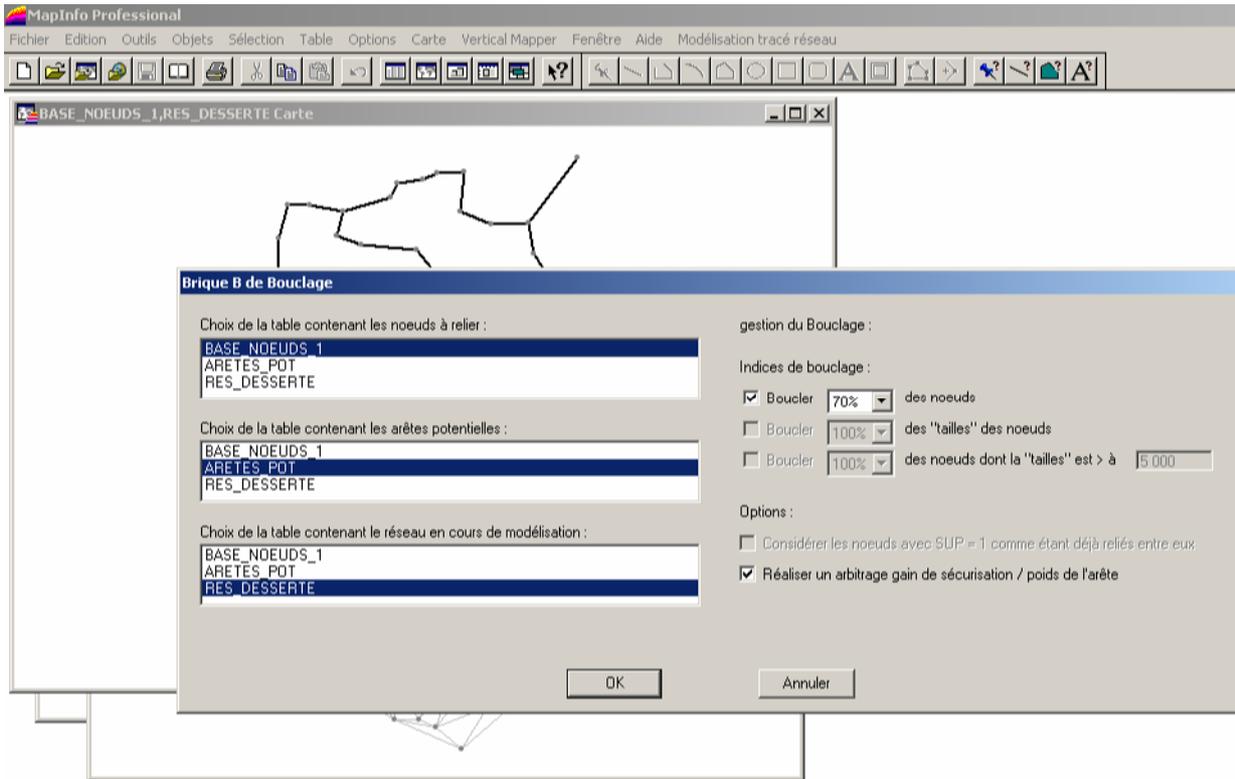
Le résultat, consistant en un ensemble d'arêtes colorées en noir, est alors sauvé dans une table nommée RES\_DESSERTTE. Le champ LONGUEUR correspond à la longueur en mètre de l'arête :



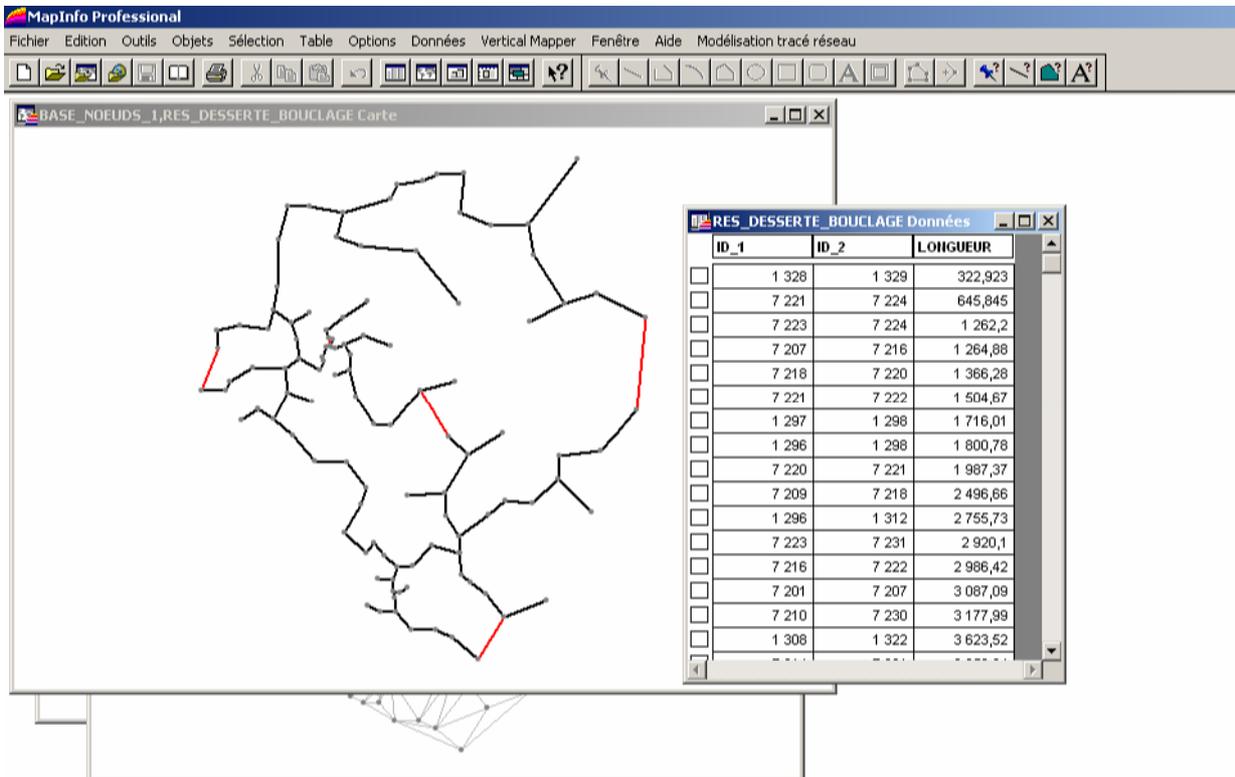
### 3 Utilisation de la brique B de bouclage

Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez la brique B « Bouclage ». Sélectionnez les tables contenant les nœuds à relier, BASE\_NOEUDS\_1, les arêtes potentielles, ARETES\_POT, et le tracé du réseau en cours de modélisation, RES\_DESSERTTE.

Spécifiez le niveau cible pour l'indice de bouclage retenu, choisissez vos options puis appuyez sur [OK] (notez que dans la mesure où la table BASE\_NOEUDS\_1 ne contient pas ni champ TAILLE ni champ SUP, les indices 2 et 3 ainsi que la première option ne sont pas disponibles) :

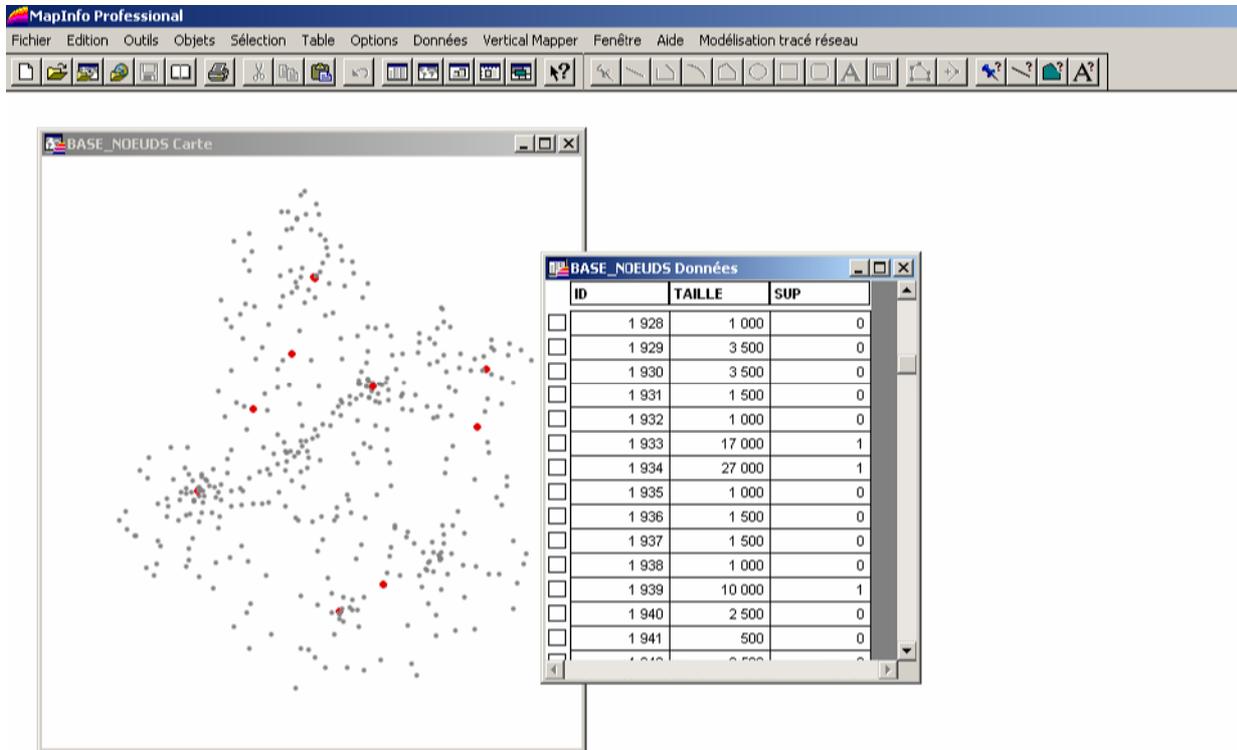


Le résultat est alors sauvé dans une table nommée RES\_DESSERTE\_BOUCLAGE. Cette table contient l'ensemble du tracé ; les arêtes ajoutées par la brique de bouclage sont colorées en rouge :



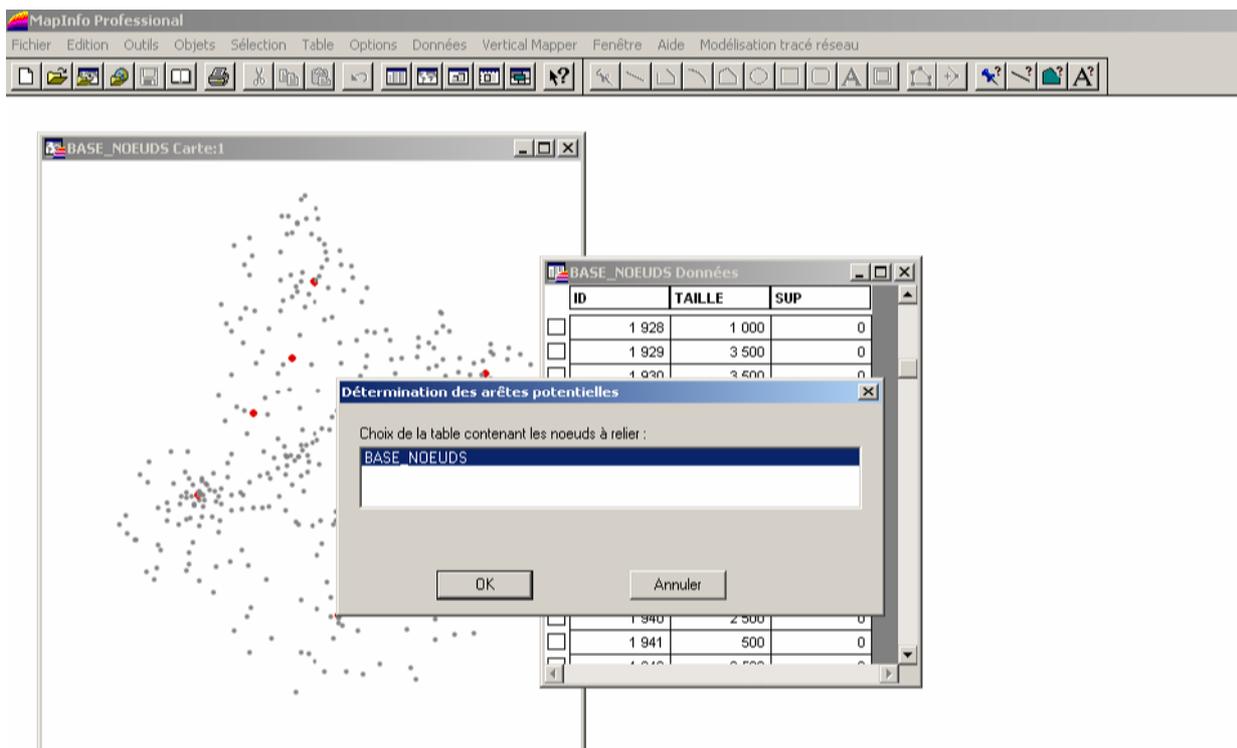
**Annexe C - EXEMPLE 2 : UTILISATION SUCCESSIVE DES BRIQUES C – A – B**

La table contenant les nœuds à relier, nommée BASE\_NOEUDS dans cet exemple, contient un champ ID, un champ TAILLE et un champ SUP (les nœuds SUP = 1 sont identifiés en rouge) :

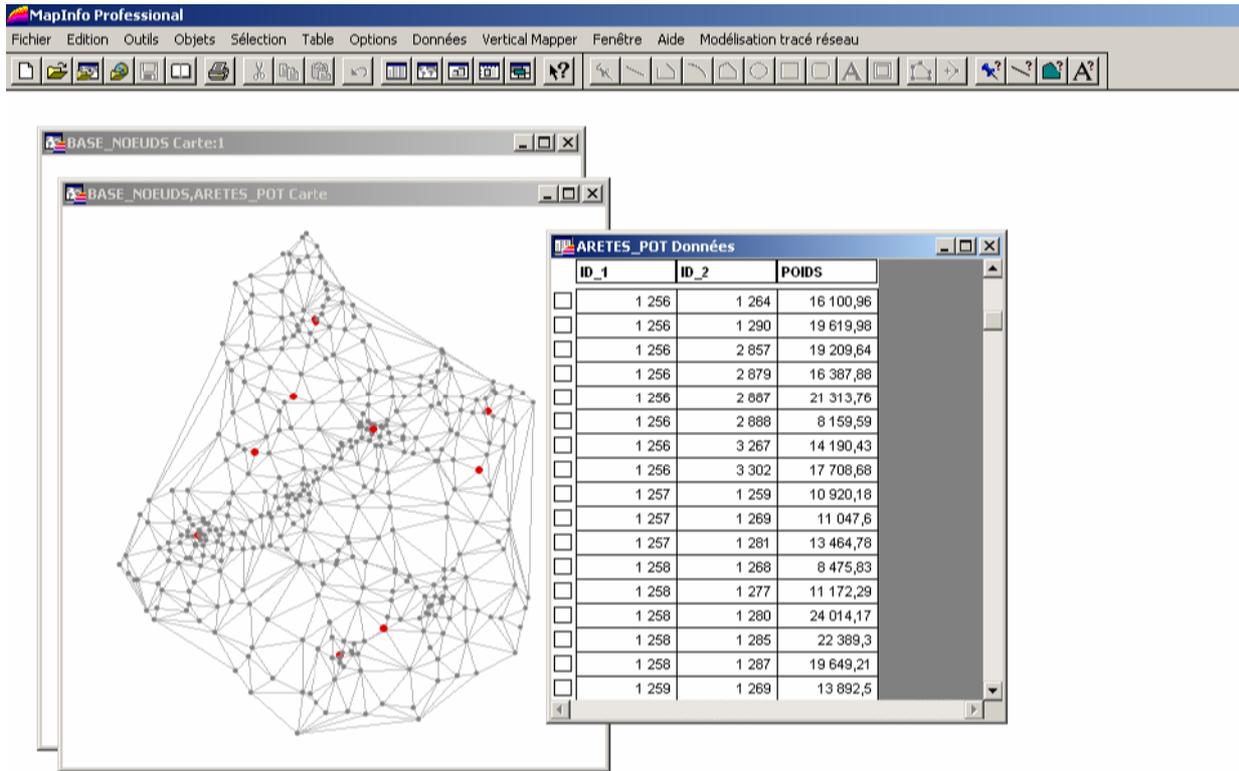


*1 Utilisation de l'outil de détermination des arêtes potentielles*

Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez l'outil « Détermination arêtes potentielles ». Sélectionnez alors la table contenant les nœuds à relier BASE\_NOEUDS puis appuyez sur [OK] :

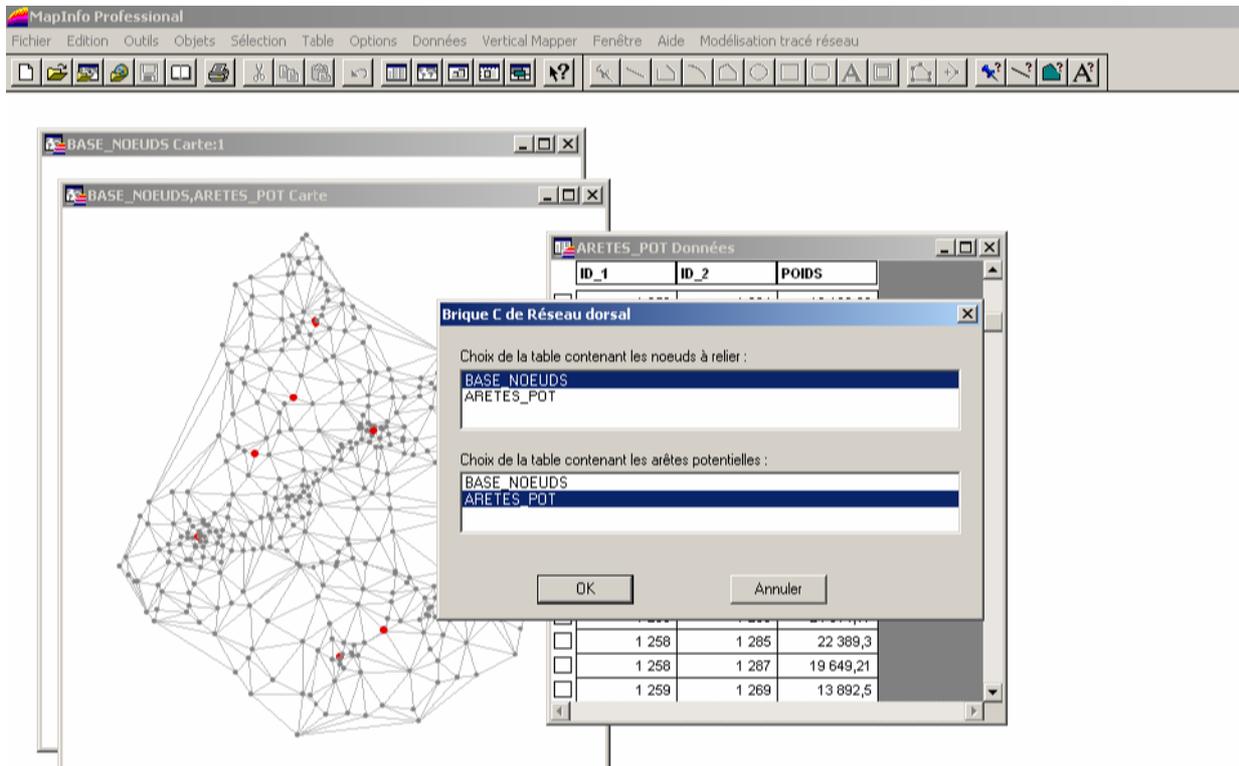


Le résultat est sauvé dans une table nommée ARETES\_POT :

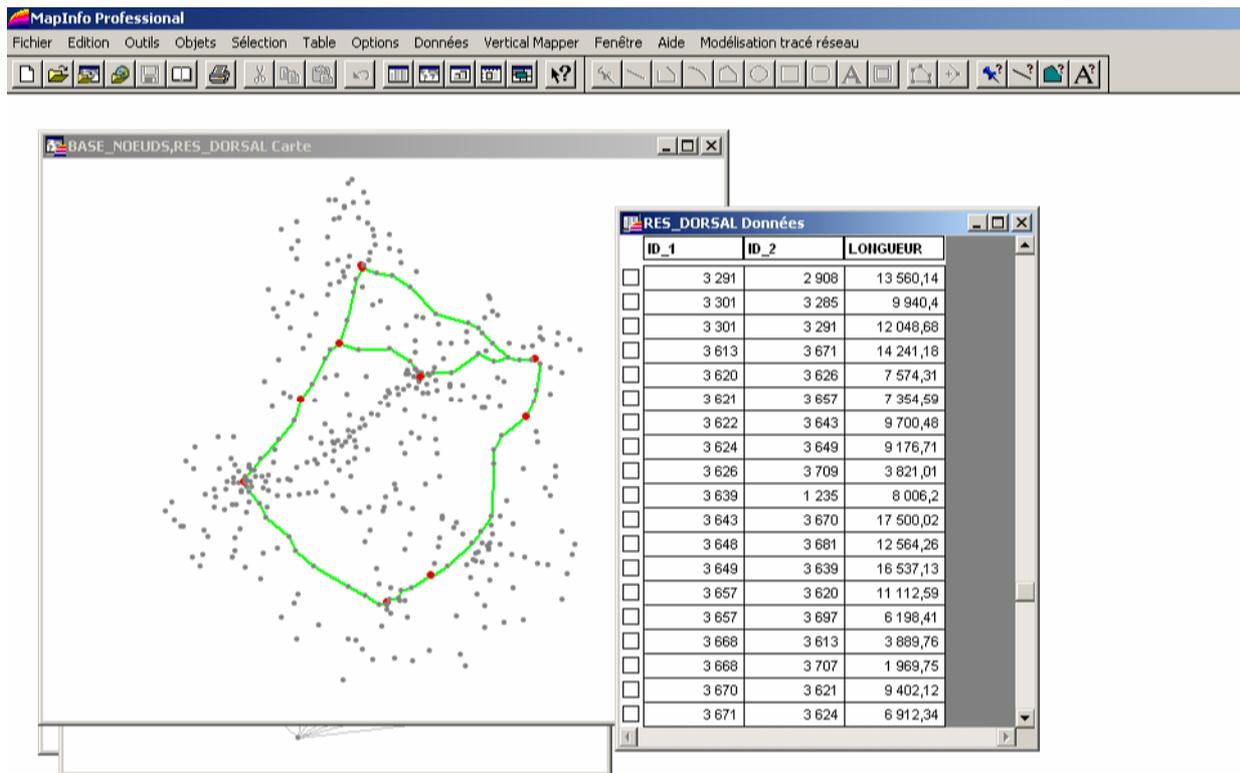


## 2 Utilisation de la brique C de réseau dorsal

Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez la brique C « Réseau dorsal ». Sélectionnez les tables contenant les nœuds à relier, BASE\_NOEUD, et les arêtes potentielles, ARETES\_POT, puis appuyez sur [OK] :

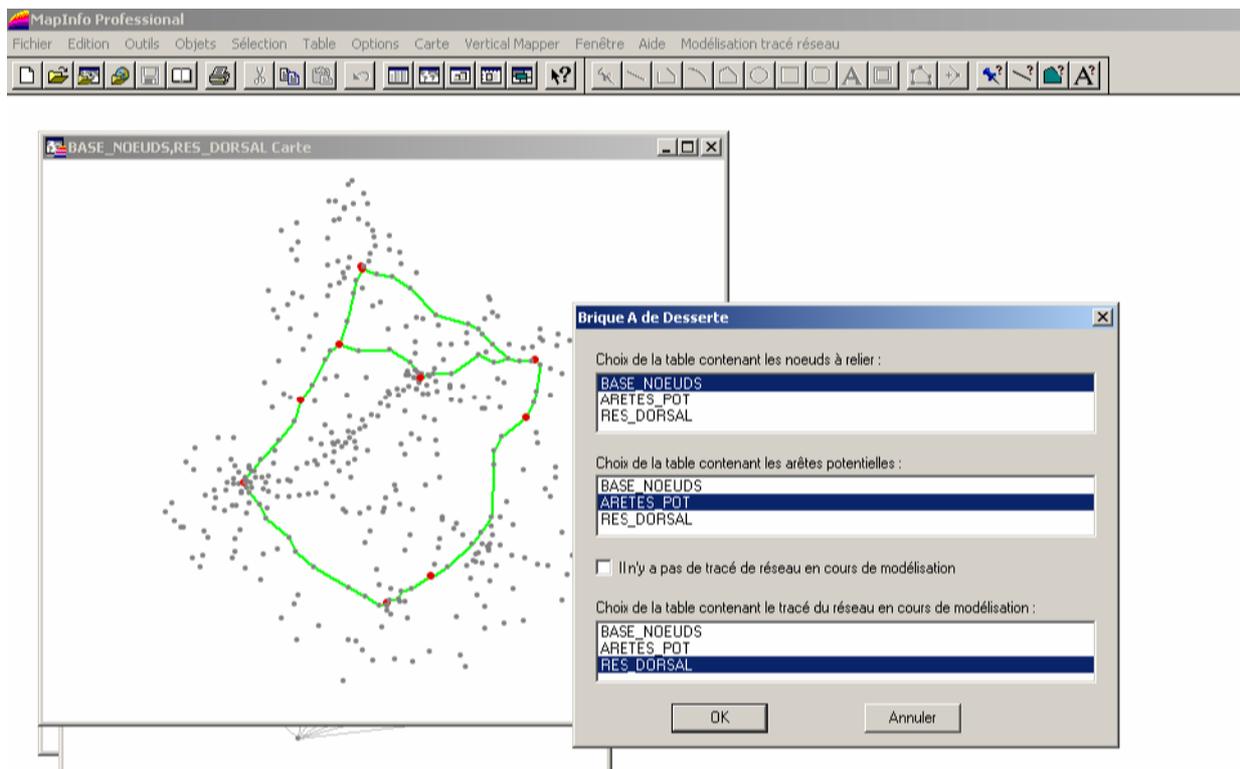


Le résultat, consistant en un ensemble d'arêtes colorées en vert, est alors sauvé dans une table nommée RES\_DORSAL :

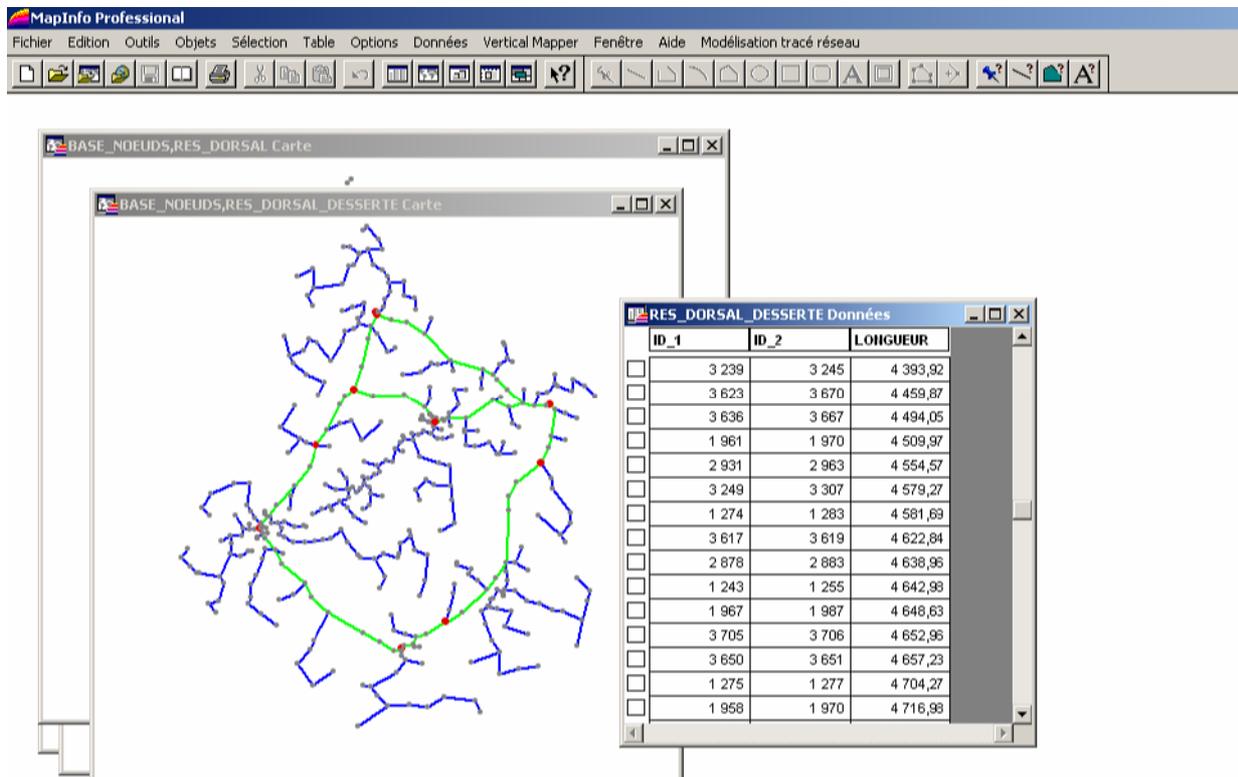


### 3 Utilisation de la brique A de desserte

Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez la brique A « Desserte ». Dans la mesure où il y a un tracé de réseau en cours de modélisation, décochez la case, sélectionnez les tables contenant les nœuds à relier, BASE\_NOEUDS, les arêtes potentielles, ARETES\_POT, le tracé en question, RES\_DORSAL, puis appuyez sur [OK] :



Le résultat est alors sauvé dans une table nommée RES\_DORSAL\_DESSERTE. Cette table contient l'ensemble du tracé ; les arêtes ajoutées par la brique de desserte sont colorées en bleu :

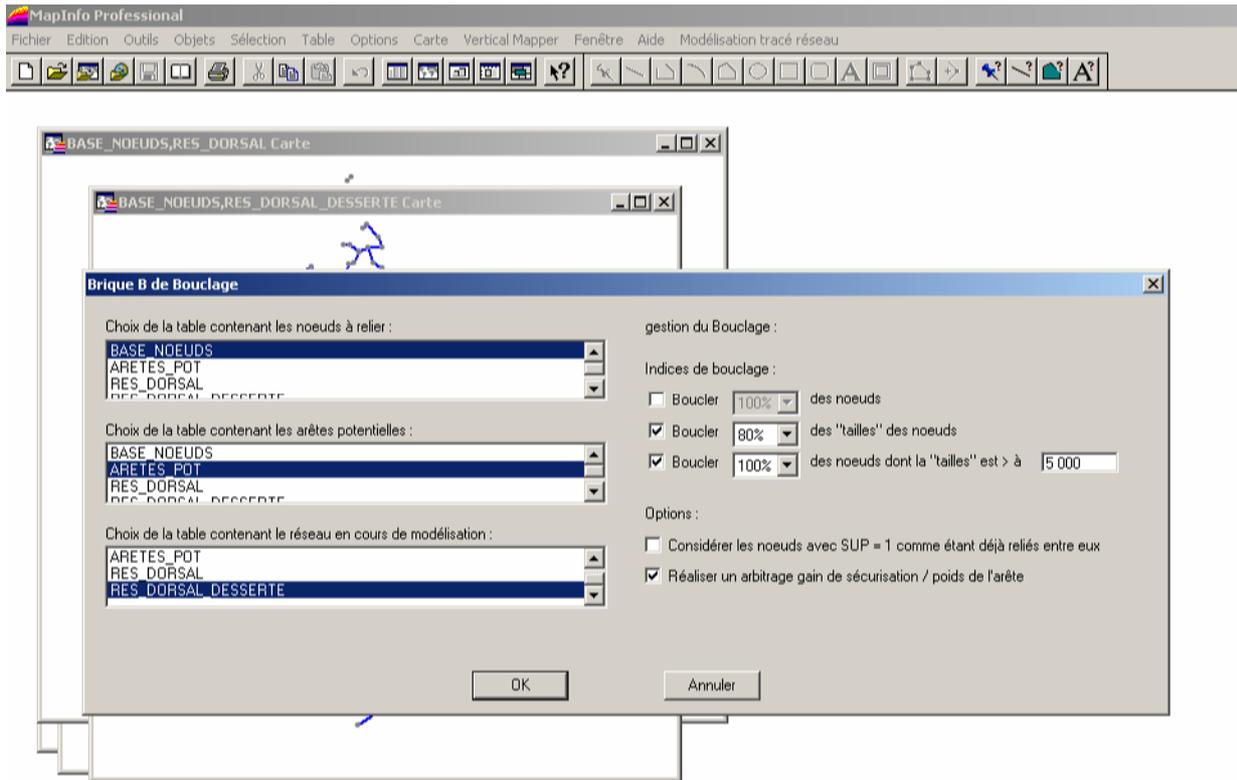


#### 4 Utilisation de la brique B de bouclage

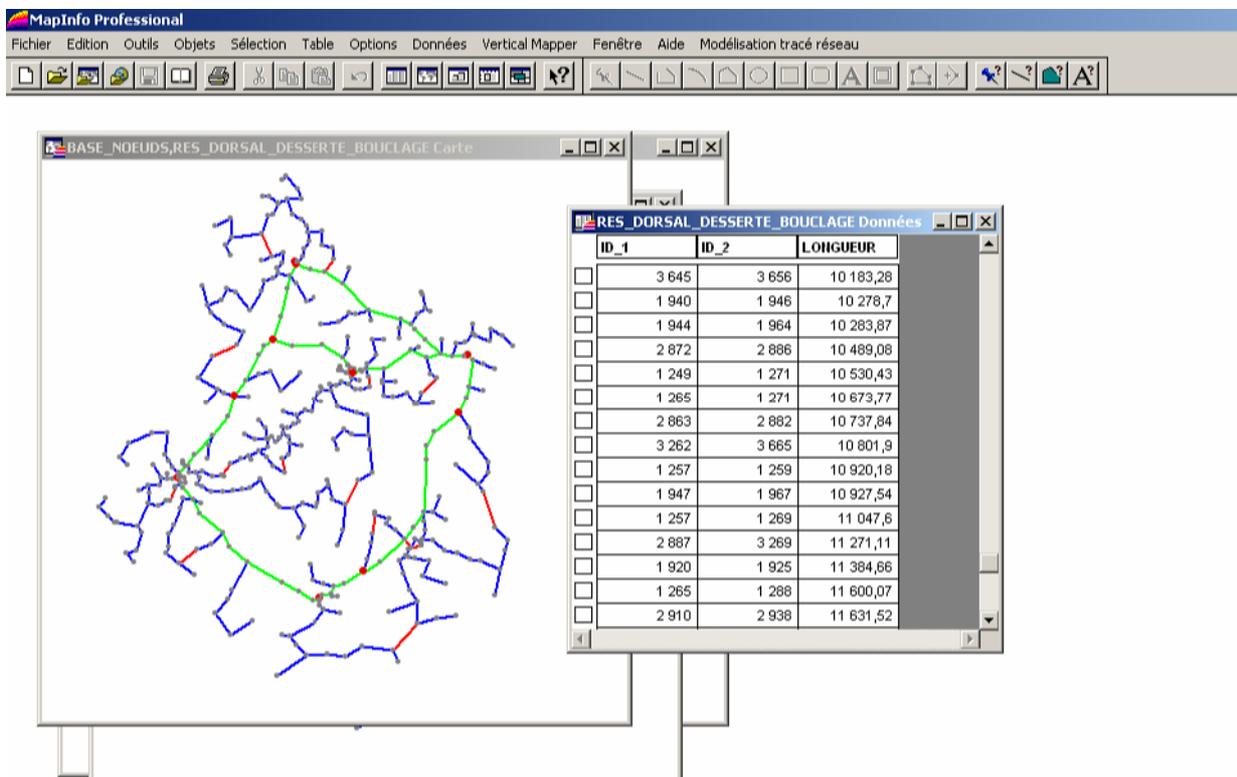
Dans le menu déroulant « Modèle topologique », choisissez la brique B « Bouclage ».

Sélectionnez les tables contenant les nœuds à relier, BASE\_NOEUDS, les arêtes potentielles, ARETES\_POT, et le tracé du réseau en cours de modélisation, RES\_DORSAL\_DESSERTE.

Spécifiez le niveau cible pour le (ou les) indices de bouclage retenus, choisissez vos options puis appuyez sur [OK] :



Le résultat est alors sauvé dans une table nommée RES\_DESSERTE\_BOUCLAGE. Cette table contient l'ensemble du tracé ; les arêtes ajoutées par la brique de bouclage sont colorées en rouge :



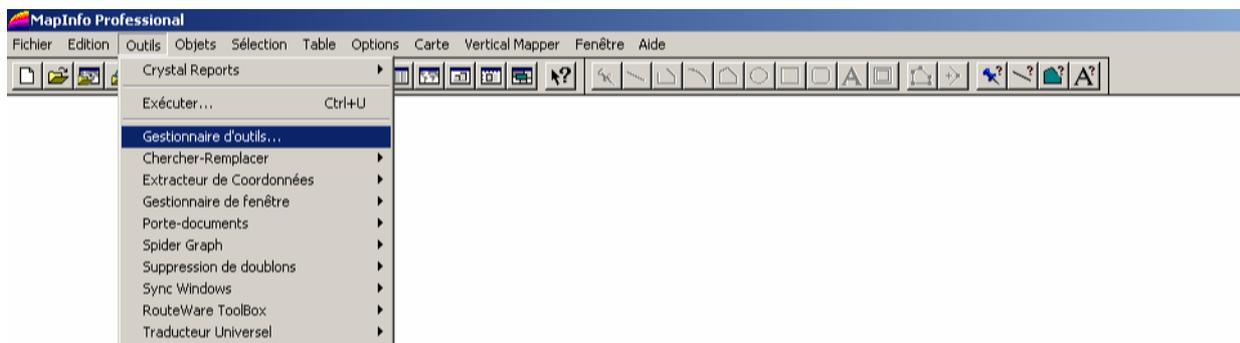
Annexe D - INSTALLATION

L'outil de modélisation de tracé de réseau mis en consultation public est téléchargeable sur le site de l'ARCEP en tant que fichier compressé « .zip ».

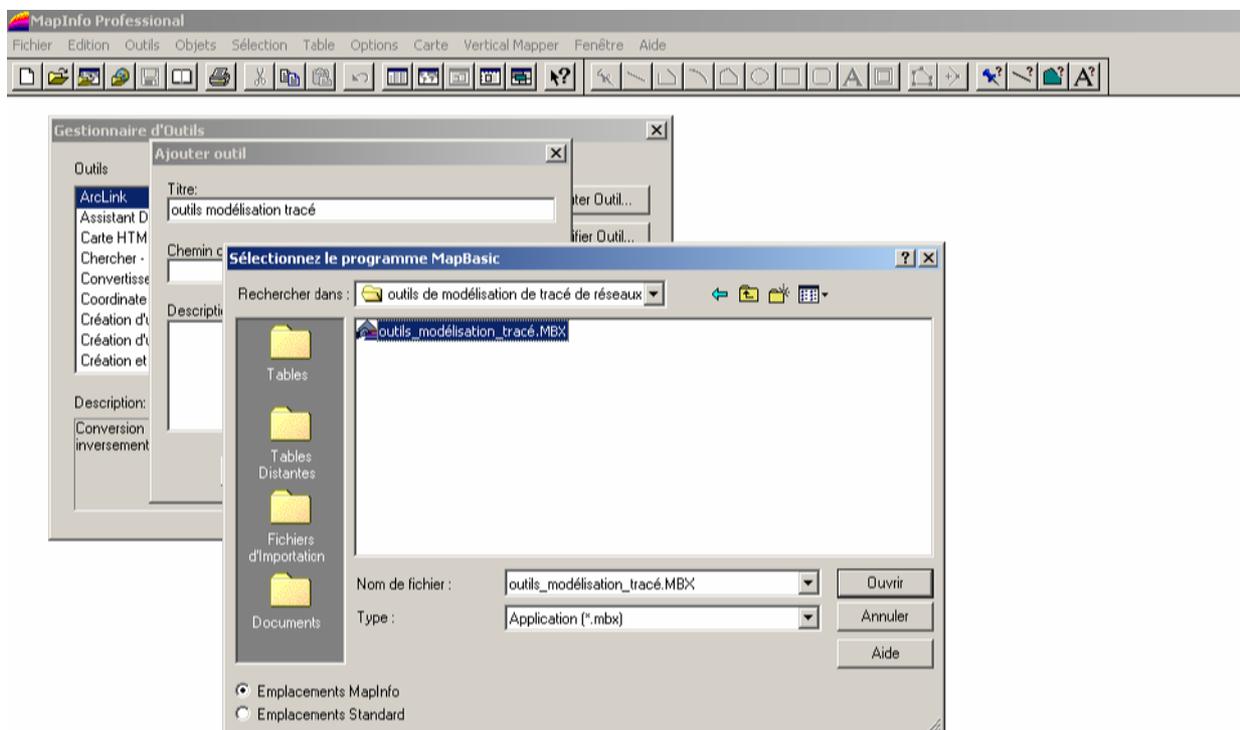
Une fois le fichier téléchargé, décompressez-le et copiez le dossier [outils de modélisation de tracé de réseau] dans un emplacement approprié.

Le dossier [outils de modélisation de tracé de réseau] contient cinq fichiers : un fichier nommé « outils\_modélisation\_tracé.MBX » qui correspond aux outils MapInfo® et les quatre fichiers « .dll » contenant les différentes fonctions qui sont appelées à chaque exécution d'une brique. Il est impératif, pour le bon fonctionnement des outils, que les fichiers « .dll » soient dans le même dossier que le fichier « .MBX ».

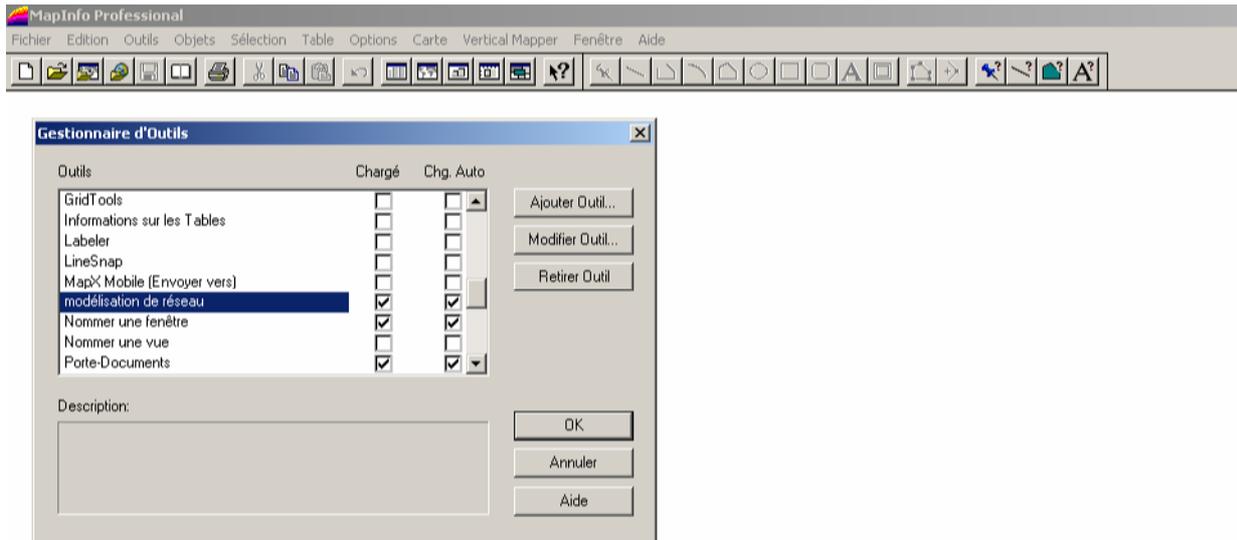
Pour installer les outils de modélisation de tracé de réseau dans l'environnement logiciel MapInfo®, ouvrez le logiciel MapInfo puis, dans le menu « Outils », sélectionnez « Gestionnaire d'outils... ».



Cliquez sur [Ajouter Outil...] indiquez alors, dans la fenêtre qui s'est ouverte, le Titre de l'outil, *outils modélisation tracé*, et le Chemin d'Accès, c'est à dire l'emplacement du fichier nommé « outils\_modélisation\_tracé.MBX », puis appuyez sur [OK].



Cochez enfin, pour l'outil que vous venez d'ajouter, les cases « Chargé » et « Chg. Auto », et appuyez sur [OK].



L'outil est maintenant installé dans la barre de menu du logiciel MapInfo® : il se présente sous la forme d'un menu déroulant nommé *Modélisation tracé réseau*. Il sera chargé à chaque ouverture du logiciel MapInfo®.

