

L'optimisation des outils d'analyse en ligne

3.1-Introduction

Suite aux éléments mis en évidence dans le chapitre 2 quant à l'identification des forces et des faiblesses des technologies actuelles pour l'analyse de données spatiales, nous avons décidé de procéder à la sélection d'une approche d'analyse qui sera par la suite optimisée pour un contexte particulier, soit l'archéologie de terrain.

L'archéologie est une discipline des sciences humaines/sociales dont l'objet d'étude est l'ensemble des vestiges matériels laissés par les anciennes sociétés humaines (Barceló, 2002). Dans bien des cas, pour étudier ces vestiges, les archéologues doivent dans un premier temps les retirer de terre. Ils utilisent alors une technique précise : la fouille. Lors de ce processus d'acquisition de leurs données, que ce soient des structures ou des objets, ils doivent tenir compte de leur localisation exacte au sein de la superposition de différentes couches de terre (= stratigraphie) formant le site archéologique qu'ils fouillent. Aussi, pour comprendre les relations stratigraphiques entre les différents vestiges, l'archéologue recherche un outil d'analyse performant qui répondrait entièrement à ses besoins.

Suite à diverses rencontres avec des archéologues, l'analyse de leurs besoins a montré que, globalement, les archéologues désirent interroger fréquemment la base de données et visualiser, par une représentation cartographique tridimensionnelle, les « unités de fouille » pour faciliter leur interprétation. Des requêtes complexes ont été pointées comme d'intérêt pour eux. Des requêtes de type :

- Comparer les unités de fouille entre elles en fonction de leur couleur, de leur granulométrie, de leur consistance et de leur position géographique et stratigraphique avec en plus la possibilité de comparer ces unités avec une céramique particulière (type et temporalité) contenue dans celles-ci »
- Où se trouvent les unités de fouille dont la matrice (la terre) est gris clair, loameuse et molle et qui contiennent des fragments de col de jarre (céramique) du bronze ancien au sein d'un contexte majoritairement de l'âge bronze ?

Ces requêtes sont complexes car :

- elles font intervenir plusieurs catégories de données (ex : les unités de fouille, la céramique) et des attributs différents dans une même requête ;
- elles font aussi intervenir tant des données détaillées (ex : l'âge de bronze ancien,) que des données agrégées (ex : l'âge de bronze est l'agrégation de l'âge de bronze ancien, moyen et récent - la consistance molle est l'agrégation de la consistance meuble, friable, friable variée)

Le contexte de fouille archéologique propose donc des défis intéressants et particuliers pour les outils d'analyse de données spatiales, notamment la nécessité:

- d'analyser simultanément l'espace et le temps, dans un contexte où l'un peut influencer l'autre ;
- de ne pas être ralenti par le logiciel d'analyse dans leur processus analytique, processus jugé très intuitif, peu structuré et peu typé ;
- de faire évoluer les données dans le système (les interprétations de l'archéologue suivant des heuristiques qui ne peuvent pas toujours être formalisées de façon absolue) ;
- de posséder une interface d'analyse conviviale, simple et accessible par des non spécialistes en informatique ;
- puis d'exploiter au mieux les environnements tridimensionnels afin de mieux supporter l'interprétation des données, la création d'hypothèses et la découverte de nouvelle connaissance archéologique.

Cette analyse des besoins nous a donc amené à identifier trois critères retenus pour faire la sélection de l'approche d'analyse: la rapidité et la facilité d'utilisation, la possibilité de faire évoluer les données dans le système et la visualisation tridimensionnelle.

Les éléments du chapitre 2 ont mis en évidence que les systèmes basés sur une approche transactionnelle sont optimisés pour certaines opérations telles l'ajout, la suppression et la modification de données. Ainsi, la structure transactionnelle n'est pas optimisée pour la

découverte de connaissances en raison d'une complexité récurrente dans les requêtes et une lenteur dans les réponses.

Nous avons aussi vu que de leur côté, les systèmes basés sur une approche analytique multidimensionnelle sont optimisés pour une analyse dite multidimensionnelle où, grâce à une base de données dénormalisée et aux axes d'analyse (les dimensions), les requêtes même celles de types agrégatives sont simples et leurs réponses sont rapides (dans la seconde). Cependant, les systèmes analytiques sont conçus de telle manière à ne pas permettre la modification de l'organisation conceptuelle de la base de données. Ainsi, afin de conserver l'intégrité de la base de données, les systèmes analytiques permettent aux utilisateurs d'interroger leur base de données pour faire ressortir l'information rapidement mais ne peuvent pas leur permettre de réécrire ou modifier leurs données. Notre revue de littérature spécifique à l'examen de travaux incorporant les concepts d'évolution de données, nous indique que des travaux ont eu lieu afin d'optimiser la mise à jour des données avec la notion de SOLAP temps-réel (Lambert, 2005). Cependant, cette mise à jour représentait exclusivement l'ajout de données avant une phase d'analyse. De plus, les manipulations restaient complexes pour, par exemple, modifier la hiérarchie d'une dimension ou bien tout simplement prendre en compte l'évolution des données surtout si celles-ci sont sujettes à des modifications récurrentes comme le sont certaines données archéologiques.

Du point de vue de la gestion de 3^e dimension, nous avons vu que les systèmes transactionnels ont été construits pour gérer des données 2D. Même s'ils permettent la visualisation dans un univers 3D, ils sont encore assez limités quant à la gestion explicite de la 3^e dimension, sauf dans le cas spécifique des MNT où ces derniers représentent un assemblage de surfaces (i.e. des triangles). Les systèmes analytiques ont aussi été construits pour gérer des données 2D. Notre revue de littérature spécifique à l'examen de travaux incorporant la 3^e dimension dans les systèmes analytiques nous a révélé qu'il n'y avait que les travaux de Brisebois, relatifs au SOLAP 3D (Brisebois 2003). Cependant, d'après le prototype conçu par Brisebois (2003), le volet cartographique étant supporté par un SIG, la gestion du 3D n'était alors pas optimale.

A partir de ces éléments, nous avons donc décidé d'examiner de plus près les systèmes analytiques car ils ont été jugés plus adéquats dans le contexte d'analyse de données issues d'une fouille archéologique (Rageul, 2004). Reste maintenant à l'optimiser. Pour cela, nous avons identifié deux grands axes jugés possédant des perspectives de développement intéressant soit : le processus de révision des données et l'introduction de la 3e dimension. Ces deux axes marquent en effet les principales faiblesses de l'approche analytique.

3.2- La révision des données d'interprétation : nouveaux concepts

3.2-1. Principe

Dans le contexte des bases de données spatiales, la **mise à jour** de données consiste à changer la valeur des données spatiales pour les faire correspondre le plus possible à l'état actuel de la réalité (Pouliot et al., 2004). Ce changement peut se concrétiser par un ajout, une modification, une suppression de données. La **correction des données**, quant à elle, consisterait à remplacer une donnée que l'on pense erronée par une nouvelle donnée que l'on sait meilleure en se basant sur des croyances assurées.

La « **modification volontaire** » de données se distinguerait de la mise à jour par le fait que celle-ci n'implique pas un changement de la réalité ou une erreur de manipulation comme c'est le cas pour la correction de données. Cette modification se ferait simplement pour « *voir ce que cela donnerait* » et revenir éventuellement à l'ancienne donnée. Ce processus de modification volontaire est très important dans une démarche de recherche et de découverte de nouvelle connaissance, comme c'est entre autres, le cas en archéologie. En effet, la fouille archéologique est une action « destructrice ». Il n'y a donc pas de mise à jour possible par rapport à la réalité qui ne peut plus changer. Seule l'interprétation de l'archéologue sur ces données va le pousser à **réviser** certaines des données. La distinction que nous faisons ici entre mise à jour et révision est très importante à comprendre. Ce processus de révision consiste alors à effectuer des **processus itératifs** de modifications volontaires dans le but d'aboutir à la **meilleure** interprétation possible du site étudié. Cela influencera directement la manière de gérer cet événement dans le système analytique.

Actuellement, il est difficile de comprendre comment se produit la révision dans un outil d'analyse en ligne pendant son utilisation. En effet, typiquement, un utilisateur ne va jamais écrire dans un cube de données (du moins, selon les principes théoriques). Par contre, il existe des situations exceptionnelles (comme en archéologie) où la donnée mise dans le cube doit être "modifiée" à la volée, i.e. réinterprétée afin d'être améliorée. Il ne s'agit pas d'une erreur à corriger dans le système transactionnel, ni d'une mise à jour puisque la situation terrain n'a pas changé. Il s'agit d'une amélioration que l'utilisateur veut apporter à la donnée car en fait, et c'est le cas en archéologie, l'analyste ne peut valider efficacement le peuplement du cube de données qu'en effectuant son analyse ... avec le cube! Comme typiquement les données agrégées résultent de l'interprétation des données fines ET d'autres données agrégées, il est impensable ou même impossible de remonter aux données sources pour effectuer les changements désirés.

De plus, comme les interprétations de l'archéologue suivent des heuristiques qui ne peuvent pas toujours être formalisées de façon absolue, il faut laisser à l'analyste archéologue la possibilité de revoir les données agrégées produites par algorithmes lors du peuplement initial du cube ET de conserver les résultats de cette nouvelle interprétation (qui ne suit pas les règles de l'algorithme d'agrégation utilisé initialement pour peupler le cube). Nous allons étudier dans la section suivante les différents types de données : celles sur lesquelles il sera possible d'effectuer des mises à jour et celles sur lesquelles il sera possible d'effectuer des révisions. Ainsi, cette différenciation, nous a permis de trouver deux grandes catégories de données : les **données d'observation** et les **données d'interprétation** qui seront deux données distinctes dans un système d'analyse en ligne.

3.2-2. Mise à jour vs révision

La **mise à jour de données** va se porter sur des données que l'on va qualifier de **données d'observation**. Ce sont des données sources qui sont issues de systèmes d'acquisition des données ou de systèmes transactionnels. Un récepteur de données GPS, une image satellite, un outil relevant les ventes et les achats en temps réel d'une entreprise, une prise de sang pour une analyse médicale sont des exemples de ces systèmes d'acquisition de données d'observation. Ces données sont habituellement traitées avant d'être utilisables dans les

systèmes transactionnels. Elles peuvent ensuite être ajoutées au système d'analyse et ne peuvent pas être modifiées au cours de l'analyse car elles représentent « la réalité observée ». Une correction de la donnée pourra cependant être envisagée si une mauvaise « saisie » de la réalité avait été effectuée.

La **révision de données** va se porter sur des données issues d'interprétation et qualifiées de **données d'interprétation**. L'expression "données d'interprétation" correspond d'une certaine manière à l'expression "données dérivées" dans le contexte traditionnel de base de données, mais que dans le contexte actuel d'archéologie, ce terme "dérivées" ne serait pas approprié car les données archéologiques ne sont pas le résultat de traitements algorithmiques, mais bel et bien le résultat d'interprétations par un expert, d'une expertise non programmable. C'est pour mieux refléter cette nuance que nous avons préféré l'expression "données d'interprétation" à l'expression "données dérivées". De plus, ces données d'interprétation étant saisies explicitement dans le système plutôt qu'obtenues par traitements, l'expression "données dérivées" aurait été fautive. Un budget prévisionnel, l'interprétation d'une analyse médicale, la recherche de nouveaux concepts,... sont autant d'exemples de processus permettant la création de données d'interprétation.

Ces données ne proviennent pas du système d'acquisition dans le sens traditionnel du terme, mais sont directement issues d'un besoin de l'utilisateur à revoir son analyse afin d'enrichir, de comprendre et/ou d'expliquer sa perception de la réalité, ceci sans mettre à jour les données d'observation. De plus, le degré de certitude des données d'interprétation varie en fonction de la façon dont celles-ci sont interprétées. Par exemple, si elles sont directement issues d'une combinaison de données observables, elles auront un degré de certitude élevé de même que si ces données sont issues de phénomènes connus et/ou compris. En prenant l'exemple de l'analyse médicale, une donnée d'interprétation sur l'état de santé du patient va être générée en fonction de plusieurs données d'observation (tension, température corporelle, présence ou non d'infection,...) et d'autres données issues d'interprétation (stress, hygiène alimentaire, activité physique,...).

La Figure 3-1 présente les données d'observation, d'interprétation ainsi que leur évolution respective (mise à jour pour la donnée d'observation et révision pour la donnée d'interprétation) dans le processus complet de compréhension de la réalité.

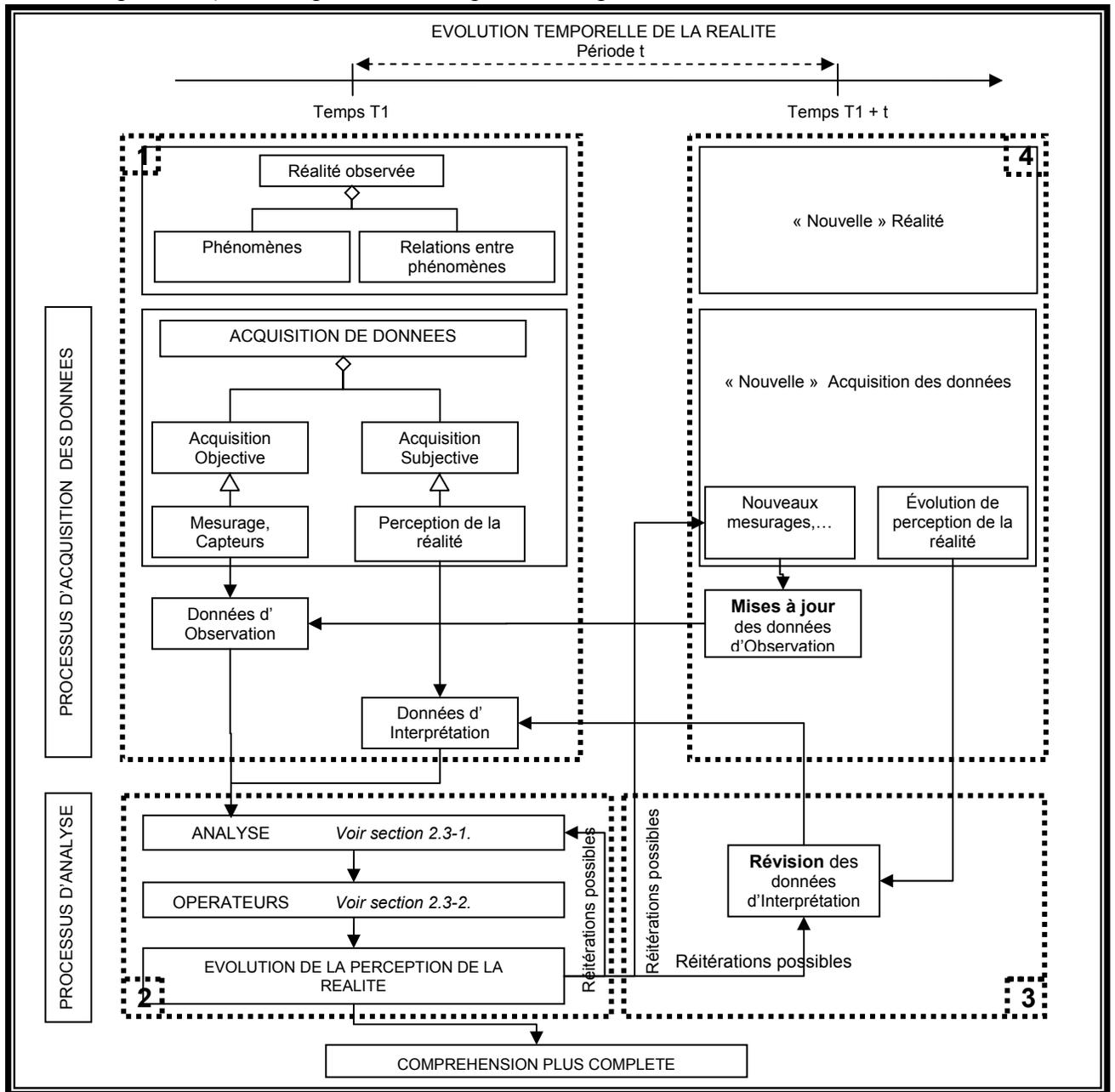


Figure 3-1 : Le processus de compréhension de la réalité au travers des données d'observation et d'interprétation

A une date donnée (encadre 1 de la Figure 3-1), la réalité observée, par l'intermédiaire de capteurs, va générer des données d'observation via ce que nous appellerons le **processus objectif d'acquisition**. L'utilisateur va avoir aussi une propre perception de la réalité et en

fonction de ces besoins, il va générer des données d'interprétation via ce que nous appellerons le **processus subjectif d'acquisition**. Le processus d'analyse tel que défini par Champoux (1991) peut alors se faire sur ces données (encadré 2 de la Figure 3-1). Suivant l'évolution de la perception de la réalité en fonction des résultats de l'analyse, l'utilisateur peut réviser ces données d'interprétation (encadré 3 de la Figure 3-1). De surcroît, suivant l'évolution de la réalité, ou si l'utilisateur souhaite réitérer l'ensemble de son processus objectif et/ou subjectif à un temps ultérieur, les données d'observation sont mises à jour et les données d'interprétation peuvent être révisées (encadré 4 de la Figure 3-1).

Quoique la distinction entre une mise à jour de données d'observation et une révision de données d'interprétation n'ait pas été observée dans la revue de littérature, elle s'est avérée utile pour la présente recherche. Nous en avons d'ailleurs fait un concept théorique central au processus d'analyse de l'archéologue et nous en sommes servi pour le développement de notre solution : supporter la révision des données d'interprétation ne se traite pas de la même façon que supporter la mise à jour des données d'observation. De plus, cette distinction permet de mieux situer les présents travaux avec ceux de Lambert (2005). Lambert en 2005 avait explicité le processus de mise à jour de données dans une structure multidimensionnelle avec l'outil SOLAP temps réel. Nous allons voir plus en détails comment le processus de révision se positionne dans un système d'analyse en ligne.

3.2-3. Les processus de révision et de mise à jour, et les systèmes d'analyse en ligne

La Figure 3-2 présente les différentes opérations que l'on peut effectuer avec une approche multidimensionnelle : la mise à jour des données d'observation, la révision des données d'interprétation, l'analyse des données détaillées et des données agrégées d'après les concepts de (Bédard, 2005; Lambert, 2005). Cette figure montre les efforts que l'utilisateur et la machine devront produire pour ces opérations. Concernant l'analyse de données, il n'y a pas de différence entre un débutant, un expérimentaliste ou un analyste car le principe très intuitif d'un outil d'analyse en ligne permet à n'importe quel utilisateur de devenir opérationnel rapidement. Cette figure nous montre aussi que l'outil d'analyse en ligne reste stable (rapide et facile) pour des analyses sur des données détaillées et/ou agrégées (Bédard, 2005). Concernant la mise à jour des données d'observation, les travaux de Lambert ont permis de mettre en évidence la notion d'actualisation d'une structure multidimensionnelle

associée à la notion de temps réel (Lambert, 2005). Cependant, aucune référence ne permet de quantifier l'effort que devrait mettre en œuvre tant l'utilisateur que la machine sur le processus de révision des données d'interprétation ni même la révision de la structure multidimensionnelle.

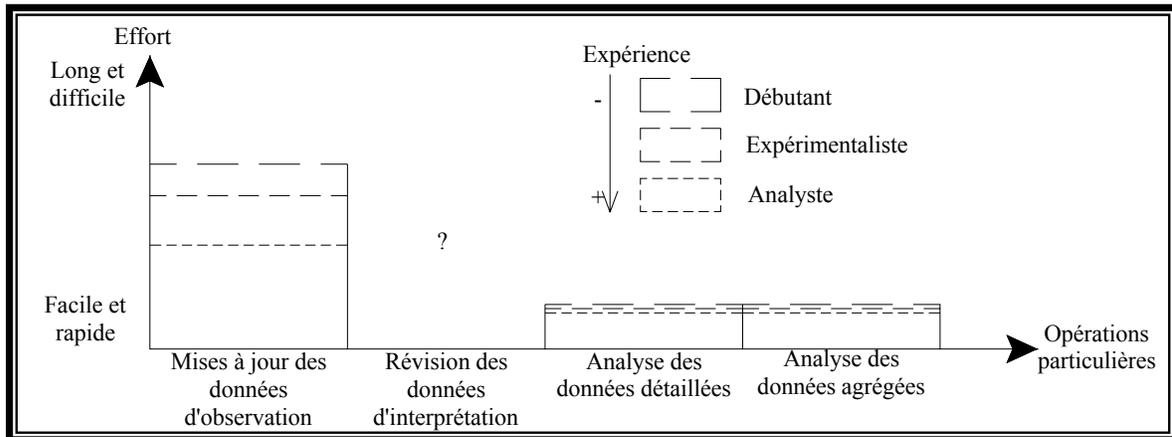


Figure 3-2 : Comparaison des efforts de plusieurs groupes d'utilisateurs par rapport à des opérations particulières d'une approche multidimensionnelle inspirée des travaux de Bédard 2005 et Lambert 2005

En partant des concepts de Lambert (2005) sur le SOLAP temps réel (cf. section 2.4-2.), la Figure 3-3 présente comment on peut conceptualiser, dans un système d'analyse en ligne, le lien qui unit les données d'interprétation avec les données d'observation. Ainsi, même si les données d'observation et les données d'interprétation ne sont pas issues de la même source « d'acquisition des données », il n'y a aucune différenciation dans l'entrepôt de données.

On remarque aussi que pour un outil d'analyse en ligne, il y a deux phases bien distinctes pour l'utilisateur :

- **la phase de pré-analyse** : il s'agit de l'ajout et suppression de données, traitement des données, rafraîchissement et reconstruction des agrégations. D'après Lambert (2005), cette phase peut être automatique (temps réel et quasi-réel) ou bien peut être fait sur demande (juste à temps).
- **la phase d'analyse** : l'utilisateur va interroger le cube reconstruit. En fonction des résultats et de ces besoins qui peuvent évoluer en cours d'analyse, il peut alors choisir de réviser ces données d'interprétation. L'outil permettant la révision de ces

données doit être, tout comme le système d'analyse, compatible avec le processus cognitif de l'utilisateur. Cet outil doit présenter les données, et les modifications possibles dans une forme proche de la façon dont l'analyste conçoit mentalement le phénomène à modifier dans le but d'une meilleure révision et par conséquent d'une meilleure interprétation.

Finalement, on remarque que grâce à l'approche de Lambert, les processus de révision et de mise à jour peuvent se porter à deux endroits de l'outil d'analyse en ligne (double flèche sur la Figure 3-3) : en amont du traitement (cela nécessite une reconstruction des agrégations) ou en aval du traitement (directement sur le cube reconstruit).

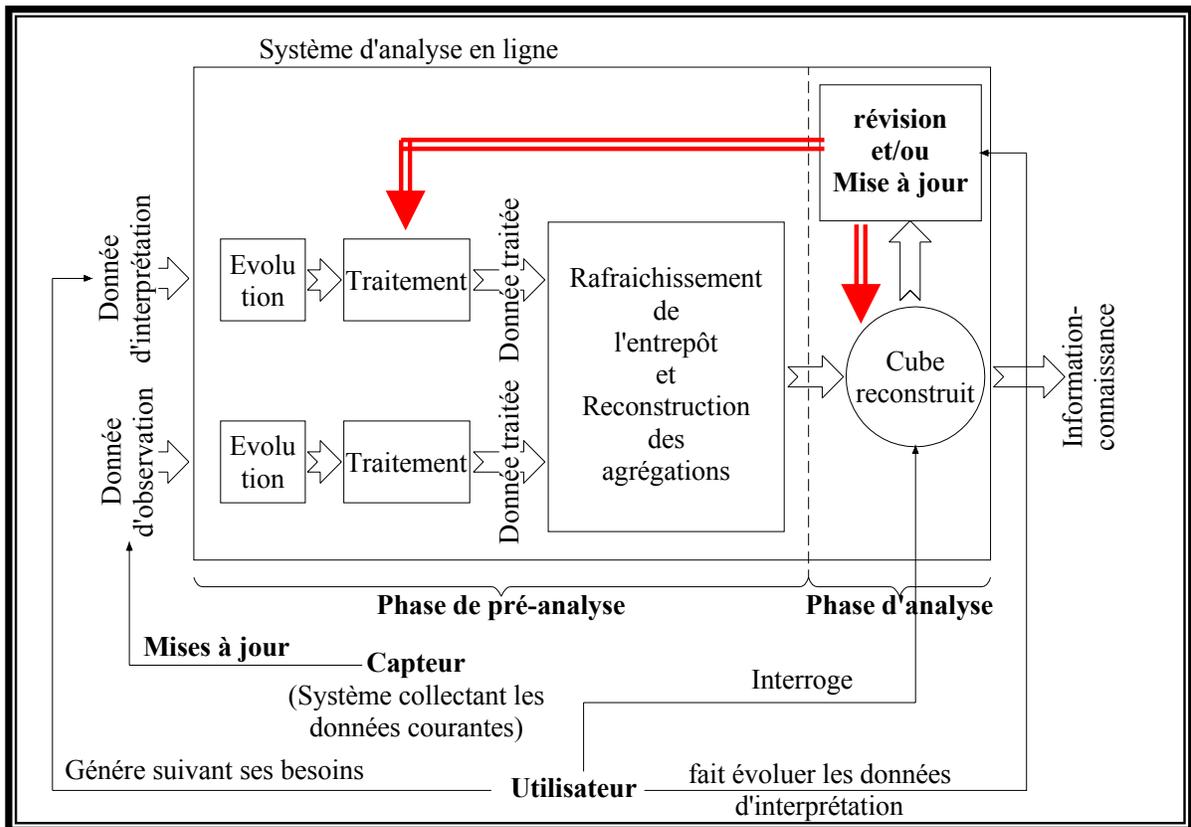


Figure 3-3 : La donnée d'interprétation dans le processus d'un système d'analyse en ligne inspirée de Lambert (2005)

3.2-4. Révision de structure vs révision de données

Une structure multidimensionnelle est constituée de membres organisés en dimensions (cf. Figure 3-4), de mesures et de faits (cf. section 2.4-2.). Un fait est principalement constitué de l'ensemble des mesures, des identifiants des membres des dimensions et d'un identifiant qui lui est propre. Ce fait est stocké dans une table que l'on appelle la « table des faits ».

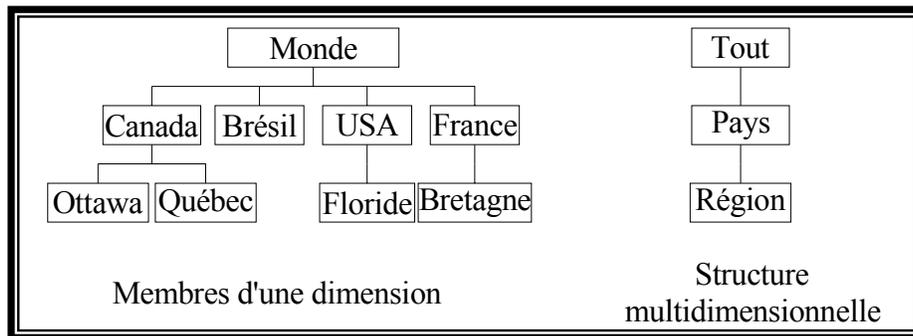


Figure 3-4 : Niveau conceptuel d'une dimension

D'un point de vue conceptuel, le processus de révision peut se produire à deux niveaux : la structure multidimensionnelle et les données elles-mêmes. La Figure 3-4 présente un exemple de structure multidimensionnelle à trois niveaux fixes: le grand-père « Tout », le père « Pays » et le fils « Région » et un exemple de membres associés à cette structure. La révision de la structure multidimensionnelle concerne l'ajout d'une dimension, la création d'une dimension alternative, l'ajout de niveaux à une dimension existante, l'ajout d'une mesure dans la table des faits, etc.

La Figure 3-5 présente deux exemples de révisions de structure multidimensionnelle :

1. La dimension est constituée de quatre niveaux hiérarchiques : « Ville » a pour père « Province » qui a pour père « Pays » qui a pour père « Tout ».
2. Première révision de la structure multidimensionnelle : Création d'un niveau alternatif dans la dimension spatiale de la structure du cube « Région » a pour père « Pays » et a pour fils « Ville ».
3. Deuxième révision de la structure multidimensionnelle : Ajout d'un niveau hiérarchique « Continent » a pour père « Tout » et a pour fils « Pays ».

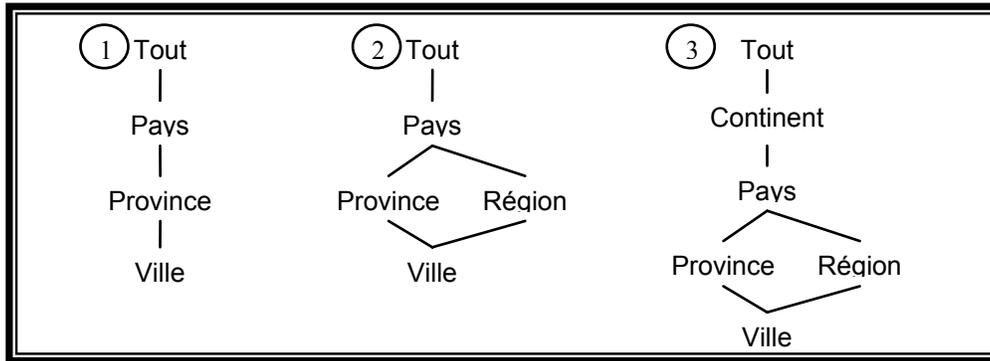


Figure 3-5 : Exemples de processus de révision de la structure multidimensionnelle inspiré de (Vaisman *et al.*, 2002)

Le processus de révision de données d'interprétation revient à modifier les membres d'une dimension lorsque la structure de la dimension existe. La Figure 3-6 montre l'exemple de trois niveaux fixes caractérisés par le grand-père, le père et le fils. Chaque niveau est caractérisé par une table dont chaque occurrence est identifiée par une clé primaire et fait référence, hormis le plus haut niveau hiérarchique, à la clé primaire de son ascendant via une clé étrangère.

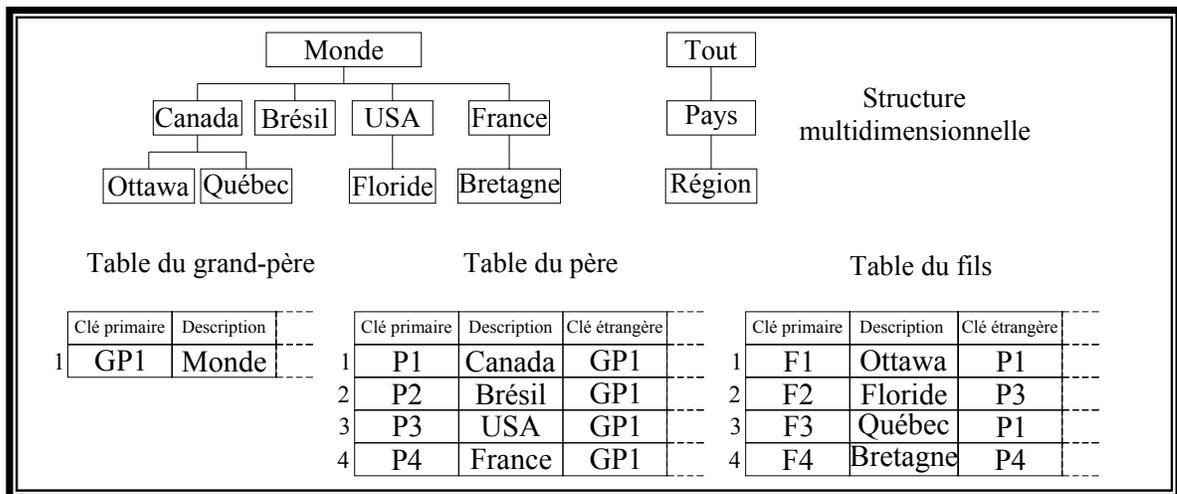


Figure 3-6 : La relation père-fils : une relation clé primaire – clé étrangère

La Figure 3-7 présente des exemples de révisions de données d'interprétation :

1. Structure multidimensionnelle fixe de la dimension ;
2. Exemple de membres de la dimension « Canada » a pour père « Tout », « Bretagne » a pour père « France » qui a pour père « Tout ».
3. Première révision de données d'interprétation : Création d'une donnée d'interprétation « Autres » dans le niveau « Pays ». « Autres » a pour père « Tout »

4. Deuxième révision de données d'interprétation : « Bretagne » qui a pour père « France » change de père pour « Autres »

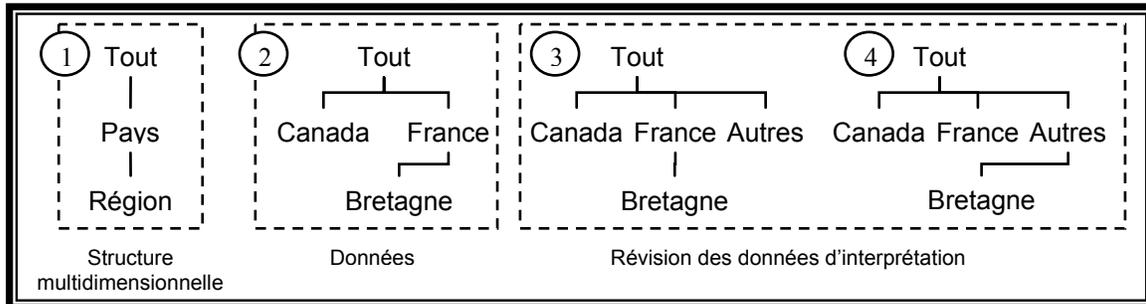


Figure 3-7 : Exemples de processus de révision des données d'interprétation

En résumé, pour notre projet, nous avons différencié deux types de données : les données d'observation qui sont extraites de la réalité et directement mesurées via le processus objectif d'acquisition et les données d'interprétation qui sont issues d'interprétation de données d'observation et/ou d'autres données d'interprétation et estimées via le processus subjectif d'acquisition. Ces données possèdent la même caractérisation telle que définie au chapitre 2. Cependant leur évolution est différente. La donnée d'observation va être actualisée à partir de mise à jour. Dans une structure multidimensionnelle, la mise à jour des données d'observation a été étudiée par Lambert (Lambert, 2005). La donnée d'interprétation, quant à elle, évolue en fonction du modèle que construit l'utilisateur du monde réel et des résultats de l'analyse. Son évolution est plus complexe que l'évolution des données d'observation car il s'inscrit dans des processus de révisions. **Le processus de révision consiste à effectuer des processus itératifs de modifications volontaires** dans le but d'aboutir à une meilleure interprétation possible de la réalité, ou à une meilleure gestion d'événements (ou phénomènes) à venir. Il existe deux niveaux de révisions dans une structure multidimensionnelle. Le premier concerne la révision de la structure et le deuxième concerne la révision des données proprement dites. Nous avons décidé de n'étudier que la révision de données d'interprétation et de considérer la structure multidimensionnelle comme invariable. La Figure 3-3 présente comment devrait s'exécuter une révision dans une structure multidimensionnelle et plus particulièrement la révision des données d'interprétation. Cependant, pour mieux comprendre ce processus de révision et comment il s'exécute, nous verrons dans la section suivante, la justification du choix de structure multidimensionnelle utilisée.

3.3- La révision des données d'interprétation : sélection d'une structure multidimensionnelle

Dans cette section, nous allons comparer les structures multidimensionnelles possibles permettant de favoriser et comprendre le processus de révisions des données d'interprétation.

3.3-1. Le choix de l'architecture ROLAP

Lors de la construction d'une application OLAP, plusieurs architectures sont possibles (MOLAP, ROLAP ou HOLAP). Notre choix s'est porté sur l'architecture ROLAP (Relational OLAP). La principale raison est une capacité qu'a l'architecture ROLAP à répondre aux attentes de flexibilité et d'accessibilité des données relationnelles stockées dans la structure multidimensionnelle. En effet, l'approche ROLAP ne nécessite pas un serveur intermédiaire puisqu'il peut travailler directement avec la base de données relationnelle. Il peut donc offrir des modifications et analyses à la volée performantes et surtout permettre de comprendre comment le processus de révision se comporterait dans une structure multidimensionnelle sous une architecture ROLAP.

De son côté le MOLAP (Multidimensional OLAP) utilise des serveurs souvent plus rapides et performants à effectuer une reconstruction totale des agrégations. Par exemple, le logiciel Analysis Services de SQL Server 2005 avec la fonction « proactive caching » permettrait de balancer les données qui sont stockées en ROLAP ou MOLAP lors des mises à jour des cubes afin de permettre l'interrogation des données lors de la reconstruction des cubes. Toutefois, nous avons constaté qu'il n'existait aucun renseignement supplémentaire permettant d'analyser le principe de cette fonction. De surcroît, le format propriétaire de SQL Server 2005, et plus spécialement, la structure propriétaire de l'architecture MOLAP empêcherait de comprendre, sur l'aspect technologique, comment le processus de révision se comporterait dans une structure multidimensionnelle.

Quant au HOLAP (Hybrid OLAP), il offre aussi des performances intéressantes puisqu'il offre tous les avantages du MOLAP en améliorant sa capacité à gérer des gros volumes de données. Il permet aussi de combiner les données relationnelles et les données multidimensionnelles. Cependant, les implantations HOLAP sont généralement supportées

par un seul distributeur ce qui rend le déploiement et la maintenance extrêmement délicate [(Kahn, 2003) : p67]. De plus, ils peuvent être parfois restrictifs en termes de mobilité qui rend son exploitation pour notre projet plus que problématique. Enfin, une telle solution souffre des mêmes restrictions que la solution MOLAP pour les données agrégées stockées dans le cube multidimensionnel.

3.3-2. Le choix du schéma en étoile

L'architecture ROLAP choisie est la suivante (cf. Figure 3-8). Cette architecture se distingue par :

- une base de données qui doit supporter les données agrégées ou résumées au moyen d'une simulation de structure multidimensionnelle.
- un serveur ROLAP qui permet de gérer tant la structure multidimensionnelle que l'accès aux données de la part des usagers.
- un client SOLAP qui permet aux usagers de manipuler et d'explorer les données aux moyens de graphismes, de tableaux et/ou d'occurrences cartographiques

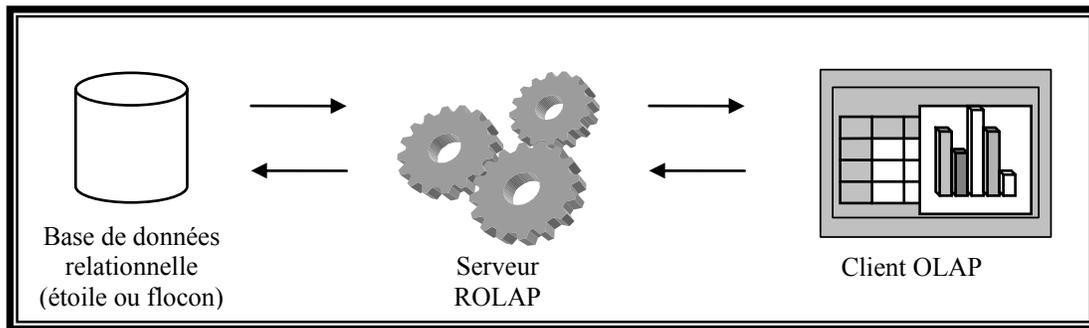


Figure 3-8 : Architecture ROLAP inspirée de (Rivest, 2000)

La simulation de structure multidimensionnelle est nécessaire pour une configuration ROLAP afin de mieux répondre aux besoins multidimensionnels. Il existe plusieurs types de simulation, mais notre choix s'est porté sur la simulation dite **schéma en étoile** pour plusieurs raisons.

La première raison concerne l'intérêt d'user du modèle en étoile. Ce modèle est le plus populaire puisqu'il offre une performance dans la rapidité d'analyse des données en réduisant au maximum le nombre de tables et le nombre de joints entre les tables. Il offre aussi, pour notre projet, un maximum de flexibilité des dimensions puisque chaque

dimension est représentée par une seule table. Les modifications des dimensions deviennent plus simples. Sa simplicité (une table centrale appelée table des faits autour de laquelle gravitent les dimensions) peut lui permettre de faire des analyses complexes sans grande difficulté.

La deuxième raison concerne la lacune des autres modèles (modèle en flocon et modèle en constellation) à optimiser le processus de révision dans un outil d'analyse en ligne. Le **modèle en flocon** est une variante du schéma en étoile. Une des différences majeures est que les tables des dimensions du modèle en flocon sont normalisées afin d'éviter la redondance. Une dimension peut être alors représentée par une succession de tables. Cette succession de tables peut le rendre à première vue plus facile à mettre à jour et sauve de l'espace de stockage [(Han *et al.*, 2000) : p50]. Cependant, cela ne concernerait que la mise à jour des données d'observation (donc modification de données de façon occasionnelle) et non le processus de révision des données d'interprétation (donc modification de données de façon courante). Si cela n'était pas le cas, cela influencerait grandement la performance et demanderait un effort supplémentaire parce qu'il y a plus de tables à mettre à jour et à réviser. En effet, si on choisit le schéma en flocon, cela signifie que la structure de la dimension est clairement définie, ce qui n'est pas le cas avec la plupart des dimensions archéologiques. Finalement, le **modèle en constellation** est aussi une variante du schéma en étoile. Même si chacune des dimensions est représentée avec une table unique, le modèle contient plusieurs tables des faits partageant les dimensions. Augmenter le nombre de table des faits, augmente aussi les efforts de mises à jour et de révision des tables.

La troisième raison est directement liée au caractère novateur de ce type de projet appliqué à l'archéologie. En effet, le dernier modèle, **modèle mixte**, est un croisement entre le schéma en étoile et le schéma en flocon. Utiliser un tel modèle revient à connaître quelles sont les dimensions faisant appels aux données d'observation et quels sont les dimensions faisant appels aux données d'interprétation. Il peut être envisagé, de se tourner vers ce genre de structure lorsque les besoins des utilisateurs et certaines structures de dimensions sont clairement définis ce qui n'était pas notre cas en début de projet.

3.3-3. Le choix de la structure Parent-enfant d'une dimension

La modélisation en étoile est donc composée d'une table centrale dénormalisée autour de laquelle gravitent les dimensions représentées par des tables uniques (cf. Figure 3-9). La table des faits contient les données quantitatives à analyser. Il s'agit des valeurs des mesures : les faits. Cette table contient aussi les clés étrangères des dimensions.

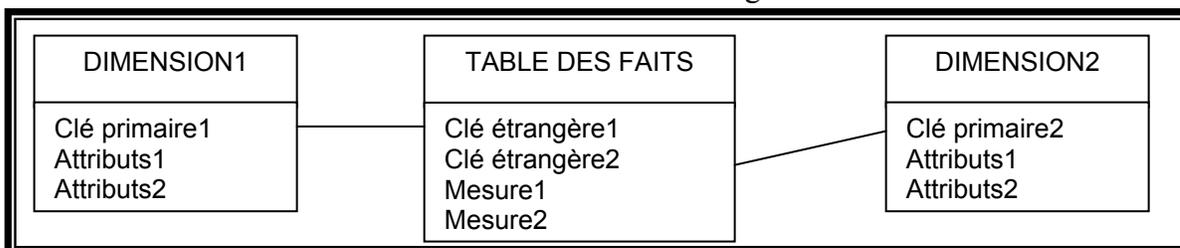


Figure 3-9 : Exemple de modélisation en étoile (ici avec 2 dimensions seulement)

Notre dernier choix va concerner la structure de la dimension. Comme le montre la Figure 3-9, la table de dimension doit impérativement contenir des clés primaires ainsi que les attributs définissant les membres des niveaux hiérarchiques de cette dimension. Nous avons répertorié deux grandes façons de structurer une table de dimension (cf. Figure 3-10). La première façon n'est pas adaptable à notre projet puisqu'il s'agit d'une dimension à hiérarchie équilibrée, c'est-à-dire avec des niveaux bien déterminés et équilibrés. Cette hiérarchie présuppose une non-évolution de la dimension qui maintient l'« arbre » de la dimension équilibrée. Cette hiérarchie est inadaptée à notre projet puisque la liberté d'évolution de la dimension n'est alors plus garantie.

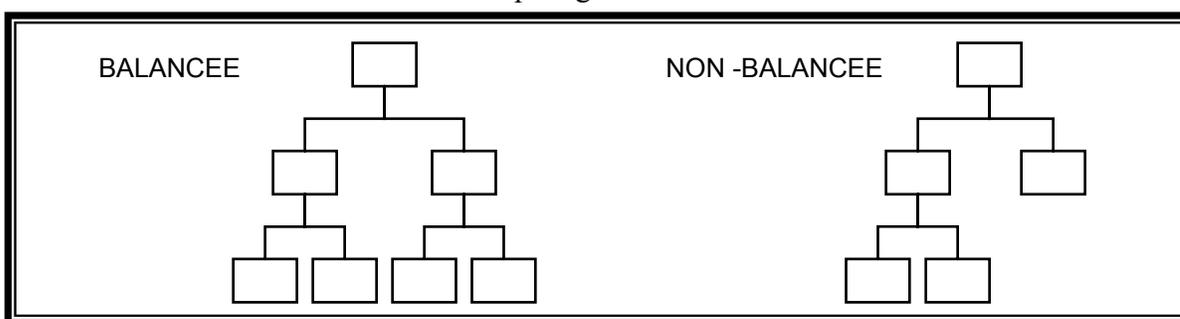


Figure 3-10 : Arbre équilibrée vs Arbre non-équilibrée

La deuxième structure, structure non équilibrée, n'a pas la contrainte de demeurer équilibrée ce qui donne plus de liberté pour réviser les données d'interprétation. Elle est donc naturellement choisie en utilisant la relation caractéristique de cette structure : la **relation**

parent-enfant. Cette structure offre toutes les possibilités d'évolution des données (d'observation et d'interprétation) puisqu'elle ne donne aucune contrainte à la dimension. L'implantation de cette relation dans une table de dimension nécessite au moins trois champs : un champ de clé primaire correspondant à l'identifiant de l'enfant, un champ de description de l'enfant et un champ correspondant à l'identifiant du parent. Le parent se retrouvant lui aussi enfant, sa description n'est alors pas nécessaire car elle se retrouve dans le membre où il est enfant. Cela peut ainsi éviter une redondance non nécessaire. (cf. Figure 3-11). Finalement, la Figure 3-6 explicitait la relation « père –fils » entre les membres d'une dimension. La structure « parent-enfant », est la seule structure où la modification de parenté, et éventuellement l'ajout d'un niveau dans la structure multidimensionnelle, revient à la simple modification d'une donnée (modification du champ présentant l'identifiant du parent, « Id parent » dans la Figure 3-11) et non pas à l'ajout de nouvelles tables ou de nouvelles colonnes comme le proposerait les autres structures.

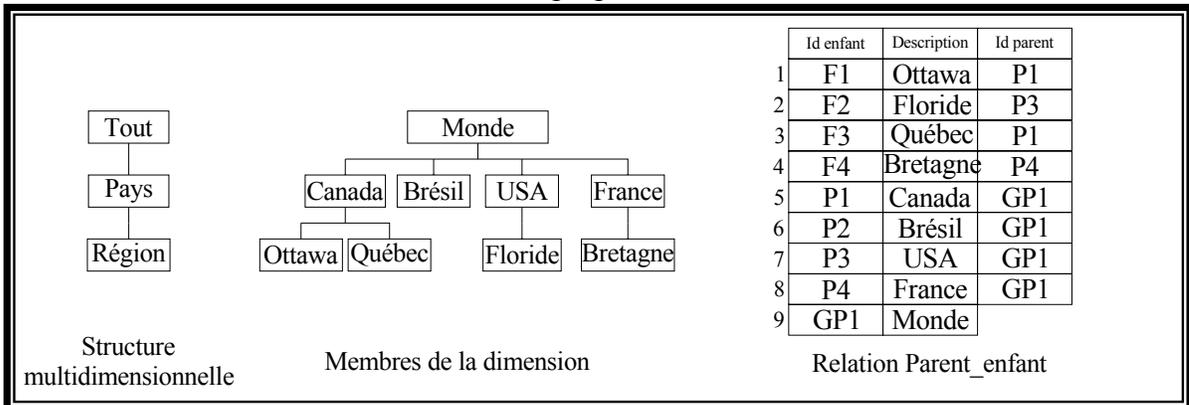


Figure 3-11 : Exemple de la relation « parent-enfant »

3.3-4. Construction et reconstruction des agrégations

Pour permettre de comprendre le processus de révision, nous estimons que l'architecture OLAP doit être une architecture ROLAP, que la simulation multidimensionnelle pour les bases de données relationnelles doit être le schéma en étoile et que la structure d'une dimension doit être basée sur la relation « parent-enfant » caractéristique des dimensions à hiérarchie non-balancée. L'approche ROLAP ne nécessitant pas un serveur intermédiaire, lui permet de travailler directement avec la base de données relationnelle. Grâce à cela, nous pouvons mieux comprendre comment s'effectue la construction et la reconstruction des agrégations d'une structure multidimensionnelle.

La **construction des agrégations** est présentée en Figure 3-12.

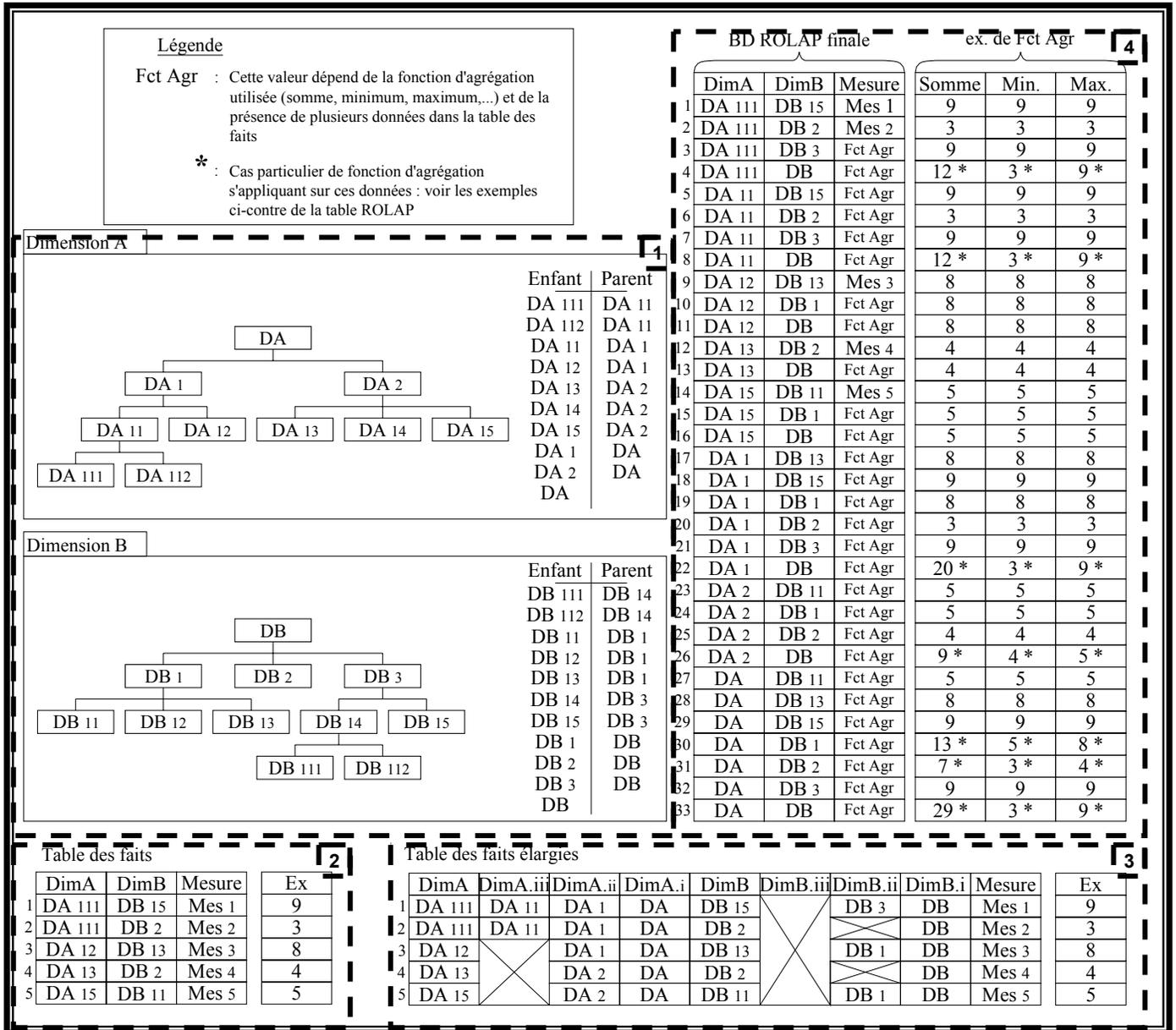


Figure 3-12 : Exemple de construction d'agrégations d'une configuration ROLAP

L'encadré 1 de cette figure présente deux exemples de dimensions structurées avec la relation parent-enfant. L'encadré 2 présente la table des faits composée de cinq enregistrements. Comme expliqué précédemment, chaque enregistrement possède les clés étrangères des dimensions A et B ainsi qu'une mesure. L'encadré 3 présente la première étape d'une construction d'agrégations : la constitution d'une table des faits élargie. Sur chaque enregistrement, on ajoute les clés étrangères de chaque parent pour chaque dimension. Par exemple, pour le premier enregistrement, on ajoute trois champs

exemple de la Figure 3-12 ne représente qu'un échantillon de données représentatives de la structure type d'une dimension et de table des faits. A ce niveau, il n'y a aucune différenciation entre une reconstruction totale et une reconstruction partielle. Cependant dans la réalité, le nombre de niveaux d'une dimension ainsi que le nombre total de dimensions seront plus conséquents et vont accroître considérablement et de manière exponentielle la table ROLAP. Au final, celle-ci sera de plusieurs millions d'enregistrements plutôt que d'une petite trentaine. Nous supposons alors que des reconstructions partielles seront plus fréquentes que des reconstructions totales.

Toutes les reconstructions partielles varient en fonction du processus de révision de l'utilisateur pendant sa phase d'analyse. Nous allons voir dans la section suivante, les différentes révisions de données d'interprétations possibles dans un outil d'analyse en ligne et ses répercussions sur la reconstruction des agrégations. L'ensemble des exemples de reconstruction partielle sera basé sur la construction présentée en Figure 3-12.

3.4- La révision des données d'interprétation : les règles d'application.

La table des faits comprend l'ensemble des clés étrangères (faisant référence aux clés primaires présentes dans les dimensions) ainsi que les mesures, variables qui font l'objet de l'analyse (cf.3.3-3.) Cette table matérialise l'association entre les mesures et les combinaisons de un ou plusieurs membres d'une ou plusieurs dimensions. Nous allons voir à présent l'ensemble des règles de révision qui portera tant sur les dimensions que sur la table des faits.

3.4-1. La révision des dimensions

Renommer le membre d'une dimension

Cette évolution est la plus facile à mettre en œuvre. En effet, la table des faits et les dimensions communiquent au moyen de clé primaire et de clés étrangères et non en fonction des attributs des membres de la dimension. Ainsi, tout changement d'attribut n'influencera en rien la correspondance clé primaire – clé étrangère et AUCUNE agrégation même partielle n'est à envisager.

Ajouter un membre de l'arbre

L'ajout d'un membre doit répondre à l'un des deux besoins suivants. Soit l'utilisateur a besoin d'une donnée détaillée supplémentaire même si celle-ci n'a pas d'influence sur la reconstruction des agrégations. Aucune clé étrangère de la table des faits n'y fait référence. Cependant, elle peut être utile pour justifier que même cette donnée n'influence pas l'analyse. Soit l'utilisateur a besoin de créer une donnée supplémentaire pour effectuer des modifications ultérieures relatives à cette donnée (en en modifiant une ou plusieurs clés étrangères vers la clé primaire de la nouvelle donnée (cf. Modifier les clés étrangères) ou en modifiant la structure de la dimension en effectuant des changements de père (cf. Changer de père). Ainsi, aucune reconstruction totale ou partielle n'est à envisager avec l'ajout d'un membre. Cependant, une grande majorité des ajouts nécessite une révision supplémentaire qui nécessite quant à elles des reconstructions totales ou partielles des agrégations

Changer de père :

Nous avons répertorié trois cas. **1^{er} cas : le changement de père n'a aucune répercussion sur les agrégations construites** (cf. Figure 3-13). Les parties qui sont concernées par le changement de père n'affectent aucune des clés étrangères de la table ROLAP. Aucune reconstruction n'est alors envisagée. Cette modification peut cependant être intéressante surtout si elle précède un ajout, ou une modification de la table des faits faisant intervenir la donnée qui vient de subir le changement de père.

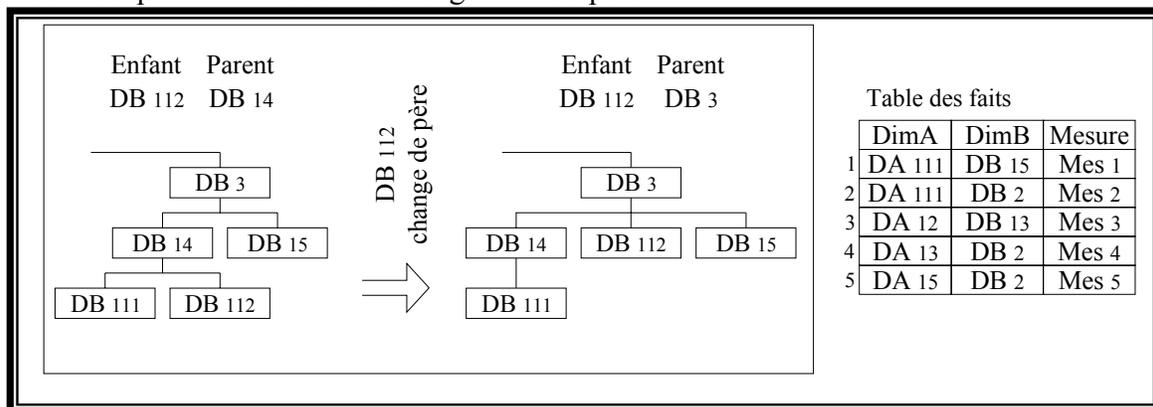


Figure 3-13 : Exemple de changement de père avec aucune répercussion

2^{ème} cas : les parties concernées par le changement de père affectent certaines clés étrangères. La reconstruction partielle devient alors très intéressante puisqu'elle va

concerner une partie des enregistrements et ainsi ne reconstruire qu'une partie des agrégations. La Figure 3-13 présente des exemples de changement de père avec répercussion sur la table des agrégations. Ce changement de père peut se faire sur deux types de données.

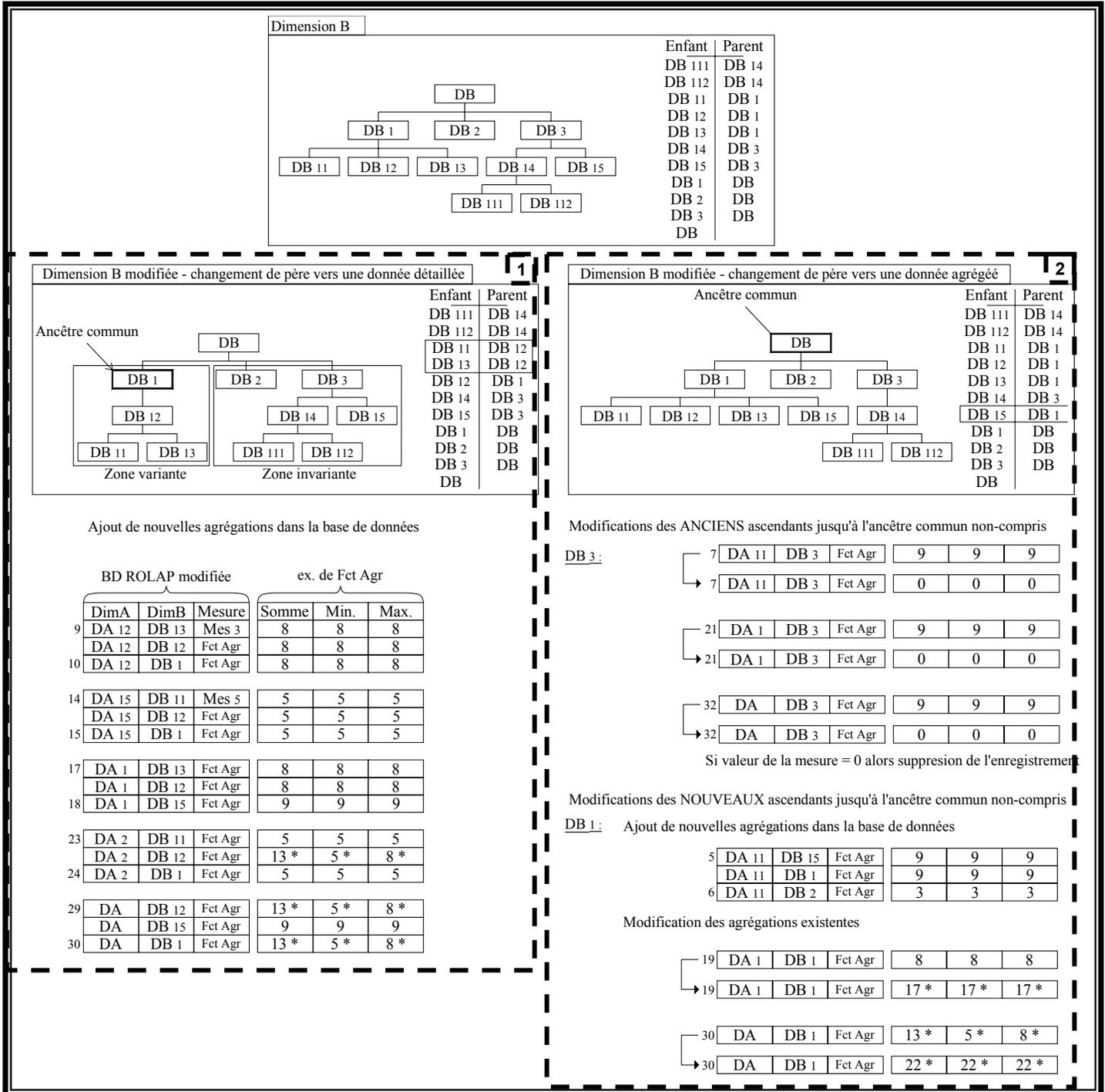


Figure 3-14 : Exemple de changement de père avec des répercussions

Tout d'abord, comme le montre l'encadré 1 de la Figure 3-13, le changement peut se faire sur une **donnée détaillée**. En premier lieu, il faut vérifier si le futur père, comme il s'agit d'une donnée détaillée, a une correspondance en clé étrangère dans la table des faits. Si une correspondance existe, il faut alors, soit interdire l'accès à la parenté à cette donnée, soit permettre à l'utilisateur de contourner ce problème en manipulant un peu plus ces dimensions : 1- en renommant la donnée qui aurait du être le futur père (cf. Renommer le membre d'une dimension), 2- en ajoutant un membre à la dimension qui porte le premier nom de la donnée qui aurait du être le futur père (cf. Ajouter un membre de l'arbre), 3- en affectant le changement de père sur la nouvelle donnée ajoutée. Une fois le contrôle validé, la reconstruction partielle peut s'effectuer. Dans l'exemple de l'encadré 1 de la Figure 3-13, la reconstruction partielle va consister à ajouter des enregistrements dans la table des agrégations.

Finalement, le changement peut se faire sur une **donnée agrégée**. Par définition, aucune clé étrangère n'y fait référence dans la table des faits. La reconstruction partielle ne nécessite aucun « pré-contrôle » et peut-être envisagée. Comme le montre l'encadré 2 de la Figure 3-13, la reconstruction partielle doit d'abord modifier les anciennes agrégations de la donnée (anciens ascendants de la donnée), puis ajouter et/ou modifier les agrégations concernées (nouveaux ascendants de la donnée).

Ces deux exemples nous montrent aussi que le niveau hiérarchique de l'ancêtre commun du nouveau et de l'ancien père tient une place importante dans l'effort de reconstruction des agrégations. En effet, plus l'ancêtre commun des deux pères est éloigné du sommet de l'arbre hiérarchique et moins il y aura d'effort dans la reconstruction partielle d'agrégation. Au contraire, si l'ancêtre commun aux deux pères se rapproche du sommet de l'arbre hiérarchique, plus la reconstruction partielle sera importante et longue.

3^{ème} cas : les parties qui sont concernées affectent toutes les clés étrangères. Ce troisième cas sera fréquent si la dimension n'est pas très hiérarchisée (2 niveaux par exemple), si elle n'a pas beaucoup de membres ET si tous les enregistrements de la table des faits font référence à cette dimension. Une reconstruction partielle n'est plus envisagée

car toutes les agrégations se trouveraient modifiées. Il faudrait alors reconstruire l'ensemble des agrégations.

Supprimer un membre de l'arbre

La suppression d'une donnée doit être extrêmement contrôlée car supprimer un membre d'une dimension revient à supprimer une clé primaire. Il faut alors faire attention à l'intégrité entre les clés primaires et étrangères. Ainsi il y a alors plusieurs possibilités. Si le membre supprimé est un **membre agrégé**, il n'y a alors aucun problème de contrainte d'intégrité des clés puisque le lien entre la table des faits et les dimensions se fait avec les données détaillées. Les enfants héritent directement du grand père et la dimension est révisée. Si les enfants de la donnée agrégée supprimée n'ont aucun lien avec la table des faits, alors aucune reconstruction partielle n'est effectuée. Sinon, si au moins un des enfants a un lien avec la table, alors les agrégations ne sont pas pour autant reconstruites mais certains enregistrements sont supprimés

Si le membre supprimé est un **membre détaillé**. Il se peut qu'il y ait un problème de contrainte d'intégrité. En effet, s'il n'y a AUCUN lien entre la clé primaire à supprimer et AU MOINS une clé étrangère, le membre peut être supprimé en toute sécurité. Cependant, s'il y a UN lien entre la clé primaire et AU MOINS une clé étrangère, deux possibilités s'offrent alors à l'utilisateur. Soit la suppression de la donnée est interdite. Soit on permet à l'utilisateur de contourner ce problème en lui laissant la possibilité de manipuler TOUTES les clés étrangères qui font référence à la clé primaire à supprimer (cf. révision des clés étrangères) afin de rendre la donnée à supprimer libre de tout lien avec la table des faits.

Ajouter un niveau à l'arbre (changement de structure)

Nous avons décidé de garder la structure multidimensionnelle non révisable. Cependant nous avons remarqué que la structure « parent-enfant » était la seule structure où l'ajout d'un niveau revient, tout simplement, à l'ajout d'un enregistrement (et donc de données) dans la table de la dimension déjà existante. Cela ne revient pas à l'ajout de nouvelles tables ou de nouvelles colonnes comme le laisserait supposer les relations « père fils » (cf. Figure 3-15).

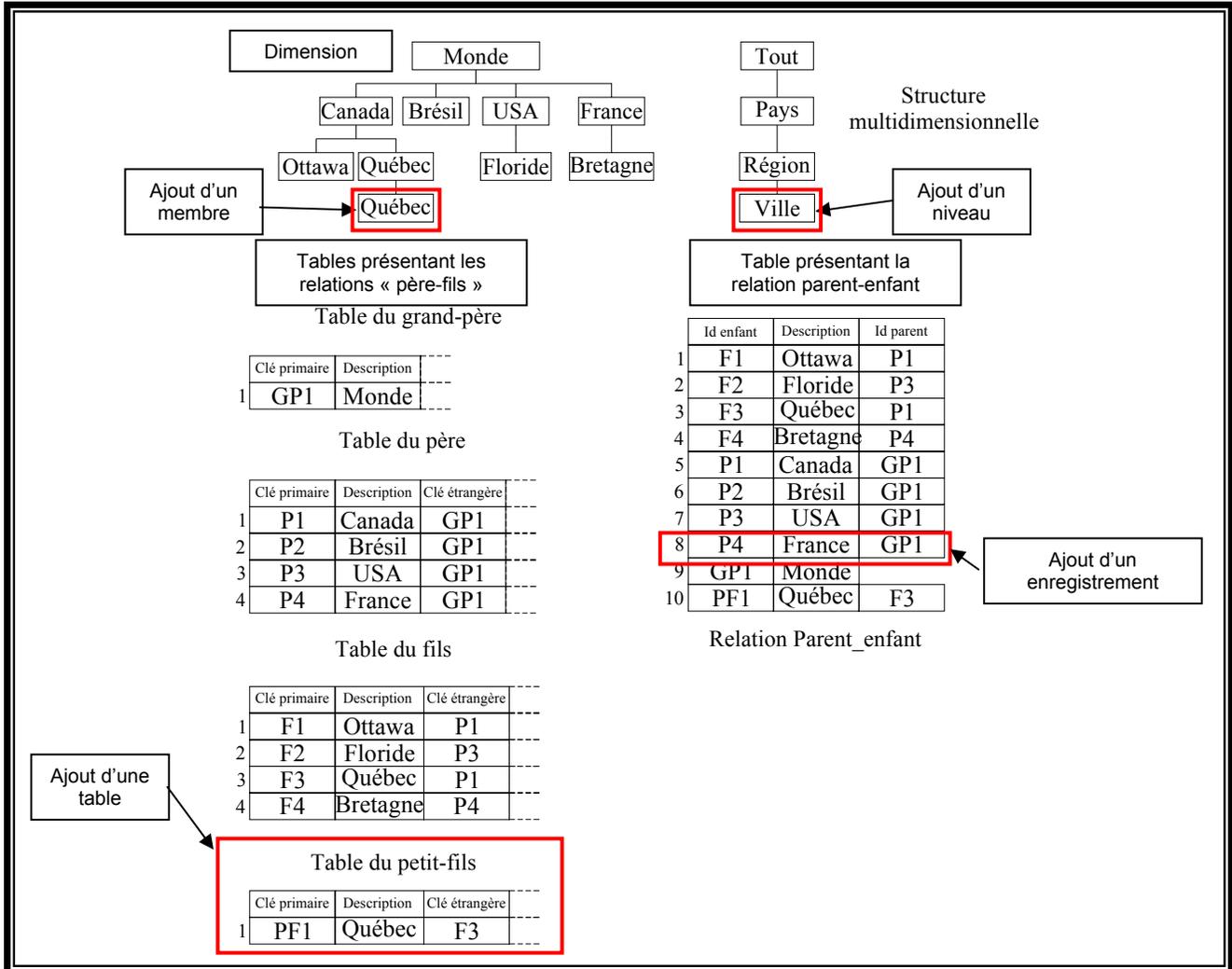


Figure 3-15 : L'ajout d'un niveau : l'avantage de la relation « parent-enfant »

3.4-2. La révision de la table des faits

Modifier les clés étrangères

L'utilisateur, choisissant de réviser les clés étrangères, va obliger une reconstruction partielle des agrégations. Une évolution des clés étrangères est obligatoire à partir du moment où, quelques soient les raisons, l'attribution n'est pas celle souhaitée. La révision d'une clé étrangère doit se faire sur une autre clé primaire d'un membre détaillé. Comme pour un changement de structure (cf. Changer de père), l'effort de reconstruction des agrégations sera fonction de la position de l'ancêtre commun des clés primaires qui faisaient référence à l'ancienne et la nouvelle clé étrangère. La Figure 3-16 présente deux exemples de révision de clé étrangère (encadrés 1 et 2 sur la Figure 3-16).

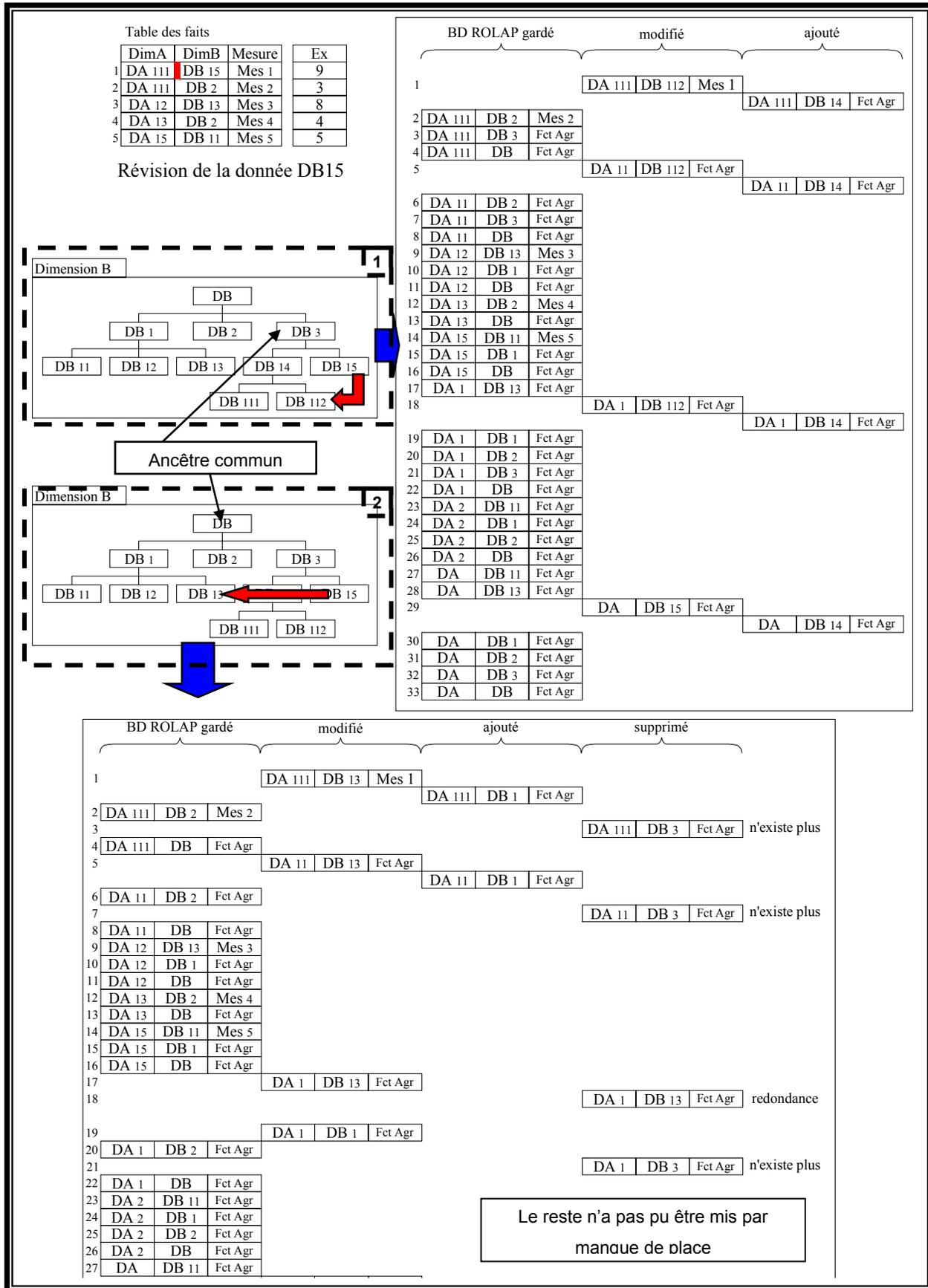


Figure 3-16 : Exemple de modifications de clés étrangères

Modifier les mesures

La révision d'une mesure ne modifie en rien la construction des agrégations car la mesure n'influence pas toute la construction des agrégations. En effet, tous les croisements effectués restent et resteront car les croisements dépendent de l'agrégation des données et donc des dimensions. Par contre, des modifications à l'endroit où la mesure est stockée seront faites. Tous les ancêtres de la donnée à laquelle cette mesure fait référence subiront des modifications qui dépendront de la fonction d'agrégation. La modification sera obligatoire si la fonction est une somme mais pas forcément si la fonction est un maximum ou un minimum (cf. Figure 3-17 : la valeur Mes1 n'est plus 9 mais 2).

| BD ROLAP finale | | | ex. de Fct Agr | | | ex. de Fct Agr | | | |
|-----------------|--------|-------|----------------|-------|------|----------------|-------|------|------|
| | DimA | DimB | Mesure | Somme | Min. | Max. | Somme | Min. | Max. |
| 1 | DA 111 | DB 15 | Mes 1 | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | DA 111 | DB 2 | Mes 2 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 3 | DA 111 | DB 3 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | DA 111 | DB | Fct Agr | 12 * | 3 * | 9 * | 5 * | 2 * | 3 * |
| 5 | DA 11 | DB 15 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | DA 11 | DB 2 | Fct Agr | 3 | 3 | 3 | | | |
| 7 | DA 11 | DB 3 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | DA 11 | DB | Fct Agr | 12 * | 3 * | 9 * | 5 * | 2 * | 3 * |
| 9 | DA 12 | DB 13 | Mes 3 | 8 | 8 | 8 | | | |
| 10 | DA 12 | DB 1 | Fct Agr | 8 | 8 | 8 | | | |
| 11 | DA 12 | DB | Fct Agr | 8 | 8 | 8 | | | |
| 12 | DA 13 | DB 2 | Mes 4 | 4 | 4 | 4 | | | |
| 13 | DA 13 | DB | Fct Agr | 4 | 4 | 4 | | | |
| 14 | DA 15 | DB 11 | Mes 5 | 5 | 5 | 5 | | | |
| 15 | DA 15 | DB 1 | Fct Agr | 5 | 5 | 5 | | | |
| 16 | DA 15 | DB | Fct Agr | 5 | 5 | 5 | | | |
| 17 | DA 1 | DB 13 | Fct Agr | 8 | 8 | 8 | | | |
| 18 | DA 1 | DB 15 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | | | |
| 19 | DA 1 | DB 1 | Fct Agr | 8 | 8 | 8 | | | |
| 20 | DA 1 | DB 2 | Fct Agr | 3 | 3 | 3 | | | |
| 21 | DA 1 | DB 3 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 22 | DA 1 | DB | Fct Agr | 20 * | 3 * | 9 * | 13 * | 2 * | 8 * |
| 23 | DA 2 | DB 11 | Fct Agr | 5 | 5 | 5 | | | |
| 24 | DA 2 | DB 1 | Fct Agr | 5 | 5 | 5 | | | |
| 25 | DA 2 | DB 2 | Fct Agr | 4 | 4 | 4 | | | |
| 26 | DA 2 | DB | Fct Agr | 9 * | 4 * | 5 * | | | |
| 27 | DA | DB 11 | Fct Agr | 5 | 5 | 5 | | | |
| 28 | DA | DB 13 | Fct Agr | 8 | 8 | 8 | | | |
| 29 | DA | DB 15 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 30 | DA | DB 1 | Fct Agr | 13 * | 5 * | 8 * | | | |
| 31 | DA | DB 2 | Fct Agr | 7 * | 3 * | 4 * | | | |
| 32 | DA | DB 3 | Fct Agr | 9 | 9 | 9 | 2 | 2 | 2 |
| 33 | DA | DB | Fct Agr | 29 * | 3 * | 9 * | 22 * | 2 * | 3 * |

Figure 3-17 : Exemple de modifications de mesures

Ajouter et supprimer des enregistrements (clés étrangères et mesures) dans la table des faits.

Le dernier point de révision de la table des faits s'intéresse aux ajouts et aux suppressions d'enregistrements dans la table des faits. Ces deux actions ont un impact direct dans la reconstruction des agrégations : la « construction » de nouvelles agrégations pour l'un et la

« destruction » d'agrégations existantes pour d'autres. Dans le cas d'un **ajout d'un nouvel enregistrement** (par exemple : ⁶

| | | | |
|--------|--------|-------|----|
| DA 112 | DB 112 | Mes 5 | 13 |
|--------|--------|-------|----|

), le membre ajouté doit :

- Tenir compte de l'évolution des dimensions précédentes (i.e. ne pas associer la clé primaire d'une ancienne donnée détaillée qui est devenu agrégée, ne pas associer la clé primaire d'une donnée détaillée supprimée,...)
- Tenir compte des agrégations déjà existantes à modifier. Dans notre exemple, DA11 DB3, DA1 DB3, DA DB3, DA11 DB, DA1 DB, DA DB existent déjà avec DA111 DB15, le premier enregistrement de la table des faits.
- Ajouter toutes les autres agrégations qui n'existent pas dans la table ROLAP

Dans le cas de la **suppression d'un enregistrement** de la table des faits, les parents des clés étrangères qui n'ont aucun autre enfant que la donnée supprimée (les enregistrements sans les * dans notre exemple de la Figure 3-12) peuvent être supprimés sans risque. Cependant, les parents qui ont plusieurs enfants (i.e., qui sont la combinaison de plusieurs agrégations comme le sont les données DA et DB) ne peuvent être supprimés, mais sont juste modifiés en tenant compte de la donnée supprimée.

Ainsi la phase d'analyse d'un cube ROLAP a pu mettre en évidence sept modifications majeures du cube. Quatre concernent les dimensions et trois concernent la table des faits. On remarque que plusieurs facteurs vont compliquer la maintenance du cube ROLAP : le nombre d'opérations de modification, le nombre de dimensions que l'on souhaite modifier, le niveau dans la hiérarchie d'une dimension en voie d'être modifiée (plus l'ancêtre commun sera proche du sommet de l'arbre hiérarchique et plus la maintenance du cube sera longue et difficile), le nombre de clés étrangères impliquées dans les dimensions modifiées, le nombre de clés étrangères modifiées dans la table des faits.

3.5- Le SOLAP 3D

Le deuxième axe d'optimisation d'un outil d'analyse en ligne concerne l'introduction de la 3e dimension. Partant des travaux de Brisebois (2003) sur l'élaboration d'un outil SOLAP 3D, nous proposerons des réflexions qui permettront de présenter ce que l'introduction de la 3^{ème} dimension exigerait d'un outil d'analyse en ligne de type SOLAP. La décision d'introduire ou non, la 3^{ème} dimension est directement liée à la possibilité de surmonter deux barrières actuelles:

- la barrière technologique, pour appliquer les concepts théorique du SOLAP 3D,
- la barrière conceptuelle pour valider la réelle nécessité d'un SOLAP 3D.

3.5-1. Le SOLAP 3D : de la théorie à la pratique

Les difficultés de mettre en place, technologiquement, les concepts du SOLAP 3D concernent directement les concepts inspirés des SOLAP 2D (cf. section 2.4-2.) :

Un traitement de tous les types de primitives géométriques ?

La modélisation géométrique 3D est ni uniforme, ni conventionnée et ni normalisée bien que cela soit en cours (Bédard, 2006). En 2D, on distingue deux types de structures de données géométriques : la structure matricielle où la primitive est le pixel et la structure vectorielle (simple ou topologique) où les primitives sont les points, lignes, polygone. En 3D, on peut aussi faire cette différence en distinguant les approches orientées espaces et orientées objets (cf. section 2.2-3.). Cependant, on a pu constater que ces deux approches sont particulièrement complexes et apportent l'une et l'autre des avantages et des inconvénients. Actuellement, il n'existe aucun système informatique capable de traiter toutes les primitives géométriques 3D, même si certains logiciels comme GOCAD, offrent des possibilités de traiter certaines primitives volumiques comme les tétraèdres et les voxels et des primitives basées sur l'approche orientée objet comme des points, lignes et courbes (Pouliot, 2005) .

Une analyse spatiale possible ?

L'analyse spatiale 3D, comme nous avons pu le voir à la section 2.3-1. est possible si elle offre suffisamment d'opérateurs spatiaux 3D fonctionnels et si la structure des données le

permet. Comparativement aux opérateurs spatiaux 2D qui s'affinent, les opérateurs spatiaux 3D métriques et topologiques (cf. section 2.3-2.) n'en sont qu'à leur balbutiement car ces opérateurs dépendent directement du type de structures géométriques 3D. Comment effectuer une analyse topologique à une structure de données non topologique ? Il existe des structures topologiques de données 3D comme le résume Lachance (Lachance, 2005), mais force est de constater que l'emphase des outils technologiques actuels est plus portée sur la visualisation et la représentation 3D (donc sur l'analyse visuelle 3D) que sur l'analyse spatiale 3D et plus particulièrement l'analyse topologique 3D. L'avancé de la visualisation des données 3D au détriment de l'analyse spatiale 3D s'explique par le fait que la majorité des manipulations de ces données se fait sur un support 2D et ne laisse à l'utilisateur que la possibilité d'« apprécier et non de mesurer » (Pouliot, 2005). On comprend alors mieux l'intérêt des technologies actuelles d'optimiser l'analyse visuelle 3D et pourquoi les structures topologiques de données 3D ne sont pas encore génériques, même si des avancées dans ce domaine sont de plus en plus présentes.

La manipulation interactive des données géométriques 3D ?

L'interactivité est une « propriété d'un programme informatique qui permet à l'utilisateur d'interagir avec le système en modifiant le déroulement du contenu du programme » (OQLF, 2006). La manipulation interactive des données géométriques consiste à reformuler des requêtes à partir de résultats d'autres requêtes (soit des occurrences cartographiques, soit un tableau, soit un graphique) comme le propose les outils OLAP et plus spécifiquement les outils SOLAP. Ces derniers proposent en effet de pouvoir sélectionner tant dans la partie descriptive, tabulaire ou graphique que directement sur les occurrences cartographiques afin d'améliorer l'interactivité avec l'utilisateur.

En 3D, cette interactivité est plus difficile à mettre en place pour plusieurs raisons. La première concerne le point de vue de l'utilisateur (lorsque des objets se chevauchent...) et sa possibilité à cliquer sur les occurrences cartographiques 3D. La deuxième concerne le problème de la notion d'objets associés aux occurrences cartographiques. Cette notion d'objets est caractéristique des systèmes d'information géographique. Cependant, les CAO permettent une modélisation plus performante, donc une visualisation 3D optimisée, mais

ne sont pas optimisées quant à la notion d'objets qui rend problématique la manipulation interactive. La troisième raison concerne le type de modélisation choisi. Des modélisations comme le fil de fer ou la représentation par balayage rende difficile le concept de « sélection » de l'occurrence cartographique. De plus, comme il est difficile de sélectionner une occurrence cartographique qui est représentée sous forme de pixel en 2D, le concept de sélection d'une occurrence cartographique représenté sous forme de voxel en 3D est tout aussi complexe.

La faisabilité d'un SOLAP 3D : les couplages technologiques possibles

Le Tableau 3-1 présente les technologies actuelles comparées entre elles par rapport à leur manière d'exploiter les données descriptives et d'exploiter les données spatiales. Comme l'intégration de la 3^{ème} dimension dans un outil SOLAP nous intéresse, nous avons distingué dans l'exploitation des données spatiales 3D : l'aspect visualisation, représentation 3D – l'aspect modélisation 3D – et l'aspect manipulation interactive 3D. Les logiciels sont :

- les Systèmes de Gestion de bases de données (**SGBD**). La fonction de ces systèmes transactionnels non spatiaux est d'assurer la gestion automatique d'une base de données et de permettre la création, la modification, l'utilisation et la protection des données (OQLF, 2006)
- les **SIG** (cf. section 2.4-1.),
- les outils **OLAP**, les outils **SOLAP** (cf. section 2.4-2.),
- les outils Conception assistée par Ordinateur (**CAO**). Ces outils tels les logiciels de conception comme Autocad, Microstation, Gocad, sont spécialisés pour la modélisation et la conception de dessin, d'objets géométriques. Les outils CAO offrent une analyse spatiale métrique 3D poussée [(Szalabaj, 2001) : p42] et, parce qu'ils sont capable de modélisation (principalement CSG et par frontière), la représentation 3D est plus efficace qu'un SIG. Malheureusement, les outils CAO ne permettent de gérer ni la notion explicite d'objet ce qui rend difficile d'y associer les attributs ni la topologie [(Longley et al., 2005) : p180] (Kemp, 2006).
- Les **visualiseurs 3D**. Ces visualiseurs sont principalement le VRML (Virtual Reality Markup Language) et ses « concurrents » directs X3D et Java 3D. Le X3D

(Extensible 3D) est un format de description de graphismes 3D pour le Web qui a été normalisé en 2005. Il est considéré comme le successeur direct du VRML avec pour avantages principaux un espace de stockage (quelques centaines de ko comparé aux Mo du VRML) et l'utilisation d'un langage basé sur le XML. Le format X3D (ainsi que VRML 2.0) peut être utilisé à l'aide de visualiseurs tels que Démotride (<http://www.demotride.com>) ou xj3D (<http://www.xj3d.org/>). Java 3D, quant à lui, fournit un ensemble de classes d'extension Java destiné à créer des scènes 3D en réalité virtuelle. Jview3DPro est un exemple d'outil permettant l'utilisation de Java 3D.

Tableau 3-1 : Exploitation des données descriptives et des données spatiales des technologies actuelles

| Exploitation des données spatiales \ Exploitation des données descriptives | | NON | OUI | | | |
|--|----------------|------|-------|--------|--------|----------------|
| | | | 2D | 3D | | |
| | | | | Vis 3D | Mod 3D | Manip Interact |
| OUI | Analytique | OLAP | SOLAP | | | |
| | Transactionnel | SGBD | SIG | | | |
| NON | | X | CAO | | | |
| | | | | Vis 3D | | |

Ainsi, concernant la barrière technologique du SOLAP 3D, il est, tout d'abord, actuellement technologiquement impossible de pouvoir effectuer une manipulation interactive des données géométriques 3D tel que définie plus tôt. De plus, le seul couplage technologique pour obtenir un premier prototype SOLAP 3D a été le couplage [OLAP + SIG]. Ce couplage avait pour objectif d'étudier la potentialité d'un outil SOLAP 3D. Le Tableau 3-1 nous montre qu'il existerait plusieurs combinaisons possibles. Cependant, afin de ne pas dépasser le cadre de la maîtrise, nous n'avons pas pu les mettre en œuvre.

3.5-2. La nécessité d'un SOLAP 3D

Le SOLAP est né de cette nécessité à vouloir et pouvoir interroger de manière interactive les données descriptives à l'aide entre autres, des occurrences cartographiques. Le SOLAP a vécu au Centre de Recherche en Géomatique de l'Université Laval au travers de plusieurs architectures distinctes successives – notamment : SGBD + SIG ([Access + SoftMap]), OLAP+SIG ([SQL Server (Analysis Services) + ProClarity + Geomedia] – dans différents domaines d'application (Sport, Foresterie, Santé,...). Nous allons examiner la nécessité et la pertinence d'un outil SOLAP 3D et nous allons le faire à travers trois axes de discussion:

1. L'influence de l'interrogation interactive des données descriptives sur des outils 3D
2. L'influence de la visualisation 3D pour l'analyse de données 3D
3. L'influence d'une synchronisation des outils d'analyses

Axe 1 : l'influence de l'interrogation interactive des données descriptives sur des outils 3D

Pouvoir juger de l'influence d'un outil d'interrogation interactif des données descriptives sur les outils de visualisation 3D revient à poser la question suivante : « *Est-ce que la navigation interactive des données descriptives amène une plus value à une représentation cartographique 3D ?* ». Cette question a souvent été posée avec les outils cartographiques 2D et les diverses comparaisons SIG, OLAP+SIG et SOLAP ont pu prouver la nécessité d'user d'une navigation interactive de données descriptives.

Des travaux ont été effectués pour coupler des outils performants de modélisation 3D avec des SGBD [SGBD+CAD] (Apel, 2004). Il peut être alors utile de voir la pertinence de coupler une technologie de navigation interactive de données descriptives avec un outil à fort potentiel 3D, ce qui n'a jamais été fait hormis l'approche avec un SIG de Brisebois (2003). Pour cela, une comparaison de plusieurs architectures serait nécessaire :

- OLAP + CAD 3D
- OLAP + Visualiseur 3D
- OLAP + CAD 3D + Visualiseur 3D

Plusieurs critères de comparaisons, non exhaustifs, sont alors à envisager :

- la faisabilité technologique : compatibilité des langages de programmation

- l'efficacité de l'analyse spatiale et la représentation tridimensionnelle non diminuée
- l'intérêt d'effectuer une analyse interactive de données descriptives sur un outil de modélisation 3D.

Axe 2 : l'influence de la visualisation 3D pour l'analyse de données 3D

Pouvoir juger de l'influence d'une visualisation 3D pour l'analyse de données 3D revient à se poser les questions suivantes :

« Est-il nécessaire de voir en 3D pour l'analyse de données 3D ? Est-ce que l'exploration interactive graphique 3D des données amènerait une plus value à l'analyse de données 3D ? Des coupes 2D, représentant différentes vues particulières, que l'on manipulerait interactivement peuvent elle être suffisantes pour l'analyse de données 3D ? »

Afin de répondre à ces questions, l'étude de plusieurs architectures et leur comparaison à l'outil SOLAP est à envisager :

- SOLAP + CAD 3D
- SOLAP + Visualiseur 3D
- SOLAP + CAD 3D + Visualiseur 3D

Actuellement la manipulation interactive 3D, tel que définie plus tôt, n'est pas possible, mais la manipulation interactive 2D existe dans l'outil SOLAP. Plusieurs critères de comparaisons, non exhaustifs, sont alors à envisager :

- la pertinence d'une navigation tridimensionnelle comparée à une manipulation interactive 2D
- la pertinence d'une représentation de plusieurs vues fixes 2D comparé à la navigation tridimensionnelle.

Axe 3 : l'influence d'une synchronisation des outils d'analyse

Quand bien même la nécessité d'user d'une exploration interactive spatiale et descriptive peut être étudiée, les besoins de synchronisation des deux outils d'explorations peuvent eux aussi être soulevés. Trois approches sont alors à envisager :

- le **couplage direct** des navigations (synchronisation complète des deux navigations comme le propose actuellement l'outil SOLAP mais pour le 2D : interrogation de manière interactive les données descriptives et graphique et analyse spatiale

possible). Ce couplage est le plus difficile à mettre en œuvre puisqu'il exige une compatibilité totale entre les deux systèmes tant au point de vue de l'accessibilité que sur la faisabilité

- le **couplage sens unique** - navigation descriptive vers navigation graphique. Par exemple, on peut exporter un fichier issu de l'analyse descriptive qui soit lisible par l'outil spatial 3D. Ce couplage peut être plus simple à mettre en œuvre au détriment d'une interactivité entre les deux outils. Le couplage sens unique - outil spatiale 3D vers navigation descriptive marquerait la prédominance des analyses graphiques, géométriques et visuelles par rapport à l'analyse descriptive ce qui semblerait être moins pertinent que le premier couplage sens unique.
- le **couplage intermédiaire**. Ce couplage permet de faire un couplage direct entre une ou plusieurs parties d'un ou des deux outils d'exploration. Cette solution intermédiaire aurait pour objectif une meilleure compatibilité et accessibilité des outils. Un exemple de couplage intermédiaire est présenté en
- Figure 3-18.

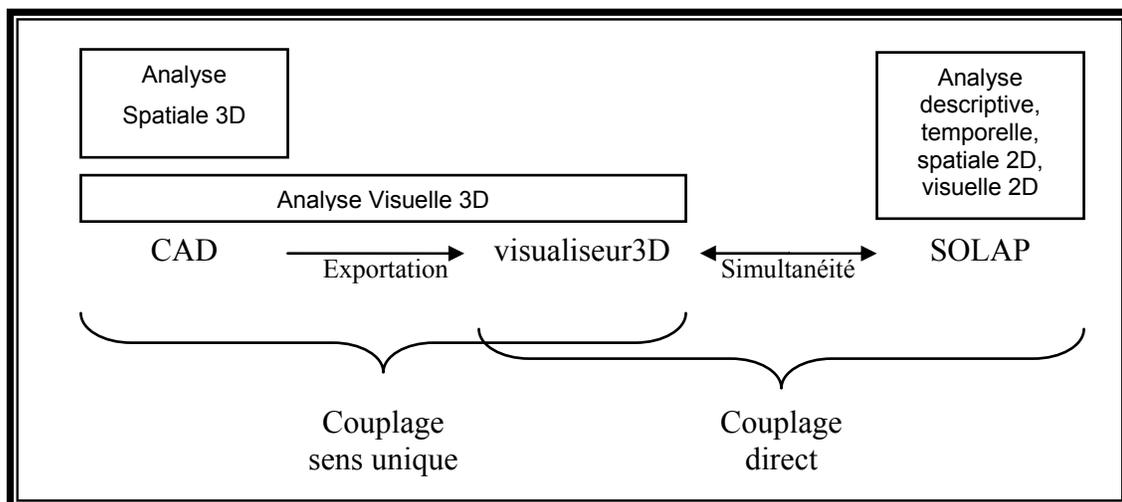


Figure 3-18 : Exemple de couplage intermédiaire

3.6- Conclusion

Pour optimiser un système d'analyse en ligne, nous avons identifié deux grands axes possédant des perspectives de développement intéressant soit : le processus de révision des données et l'introduction de la 3e dimension.

Concernant le processus de révision de données, nous avons présenté de nouveaux concepts sur le processus de révision ainsi que sur les données susceptibles d'être révisées. Ces données, que nous avons qualifiées de données d'interprétation se différencient des données d'observation par leur capacité à évoluer pendant la phase d'analyse. Les données d'observation quant à elles ne seront mises à jour qu'à partir du moment où la réalité évoluera et que des capteurs auront saisis cette modification. D'un point de vue conceptuel, le processus de révision d'un outil d'analyse en ligne se produit sur deux niveaux : la structure multidimensionnelle et les données elles-mêmes. Nous avons choisi de n'étudier que le processus de révision de données. Toutes les structures multidimensionnelles des outils d'analyse en ligne offrent la possibilité de manipuler les données d'interprétation. Cependant, une seule, la structure ROLAP, sous la simulation de schéma en étoile avec la modélisation des dimensions en « parent-enfant », offre les meilleures caractéristiques pour optimiser et comprendre le processus de révision des données d'interprétation. Cependant, nous avons constaté que la construction des agrégations est un travail qui demande beaucoup de temps mais semble t'il nécessaire à chaque révision d'une donnée d'interprétation. Or, la notion de temps est essentielle puisqu'une reconstruction trop longue pourrait stopper le processus de réflexion de l'utilisateur. Ainsi nous avons pu remarquer qu'une reconstruction partielle engendrerait un gain de temps considérable.

Concernant l'introduction de la 3^{ème} dimension, nous avons constaté la difficulté à mettre en œuvre les concepts du SOLAP 3D principalement en raison de la faiblesse des technologies actuelles en matière de 3D. Face à ces difficultés technologiques, des questions sur la nécessité d'un SOLAP 3D ont été soulevé à savoir : pour analyser des données 3D, l'interrogation interactive des données descriptives est-elle utile aux outils 3D ? La visualisation 3D, à la différence d'une visualisation 2D judicieuse, est elle nécessaire pour une analyse de données 3D ?