



**HAL**  
open science

# TEMPOS : un modèle d'historiques pour un SGBD temporel

Jean-François Canavaggio

► **To cite this version:**

Jean-François Canavaggio. TEMPOS : un modèle d'historiques pour un SGBD temporel. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1997. Français. NNT : . tel-00004924

**HAL Id: tel-00004924**

**<https://theses.hal.science/tel-00004924v1>**

Submitted on 20 Feb 2004

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# THÈSE

présentée par

Jean-François Canavaggio

pour obtenir le titre de

Docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1

*(arrêtés ministériels du 5 juillet 1984 et du 30 mars 1992)*

spécialité

Informatique

## TEMPOS : un modèle d'historiques pour un SGBD temporel

Date de soutenance : 22 novembre 1997

Composition du jury :

Président du jury : M. Michel Adiba

Rapporteurs : Mme Colette Rolland

M. Jacques Le Maitre

Examineur : M. Willy Goldgewicht

Directeurs de thèse : M. Pierre-Claude Scholl

Mlle Marie-Christine Fauvet

Thèse préparée au sein du laboratoire Logiciels, Systèmes et Réseaux GLSR-IMAG



*Cette thèse n'est pas la mienne.*

*Du moins, je ne peux prétendre qu'elle corresponde seulement à mon travail. Marie-Christine et Pierre-Claude ont commencé à défricher le domaine avant que je ne commence ma thèse. Puis c'est ensemble que nous avons progressé dans la définition du modèle du temps, puis du modèle d'historiques. Leurs idées comme les miennes, nos discussions sont à la base de ce travail. Je ne peux que les remercier infiniment pour le temps et l'énergie qu'ils ont consacrés à notre travail d'équipe, et plus encore pour la confiance qu'ils m'ont toujours témoignée.*

*Marlon, arrivé plus récemment, s'est également beaucoup impliqué dans le projet, et je le remercie particulièrement du travail qu'il a réalisé pour l'implantation du prototype.*

*Marie-Claude nous a aidés à appliquer les historiques au cas des séries chronologiques. Sa bonne humeur a toujours largement compensé les questions embêtantes qu'elle posait, mais, de toute façon, celles-ci ont souvent permis d'éclaircir des points litigieux de notre modèle.*

*Mon séjour à Thomson/RCC a été très enrichissant, le travail et les discussions avec Willy Goldgewicht et Renaud Pommepuy ont été fort intéressants. L'environnement était très différent de celui du labo. Je les remercie tous deux pour leur accueil pendant ce stage, et je suis reconnaissant à Willy d'avoir accepté de participer à mon jury.*

*Je tiens à remercier M. Jacques Le Maître, pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et aussi pour m'avoir permis de l'exposer en détail dans son laboratoire.*

*Je remercie Mme Colette Rolland, qui a également accepté le rôle de rapporteur, et M. Michel Adiba, pour leur participation à ce jury.*

*Liliane Di-Giacomo, Martine Pernice, Solange Roche, François Challier et Bernard Martinet (bref, le "personnel administratif" du LSR) sont tout autant efficaces qu'aimables. Merci à eux pour les dossiers remplis et les pannes résolues!*

*En bon apprenti enseignant-chercheur, j'ai passé une partie de mon temps à enseigner. Aussi, je suis reconnaissant à tous les étudiants qui se sont vus imposer ma présence, qui ont eu à essuyer les plâtres de mes premières heures d'enseignement et qui n'ont pas porté plainte!*

*En créant le Collectif des Doctorants Grenoblois (CDG), nous avons voulu sensibiliser "les acteurs de la recherche", du monde académique et de l'industrie, aux problèmes rencontrés par les doctorants. La tâche est peut-être trop grande pour les quelques irréductibles du CDG, mais nous résistons encore. Nous n'avons pas trouvé la formule magique pour faire adhérer à notre action les thésards grenoblois, apparemment plus sensibles au ron-ron ambiant. Les personnes qui nous ont écoutés, et aidés, n'en sont que plus honorables.*

*Cependant, il n'y a pas que la thèse dans une vie de thésard (du moins, c'est ma thèse). Et si la recherche est une activité intéressante, elle est, à forte dose, aussi délétère que d'autres. Il a fallu plus d'un bouquin, et plus d'une journée de VTT pour me permettre de garder les neurones en place, et les pieds sur terre. La question n'est pas de savoir si Tempos est plus "performant" que TSQL 2, mais de savoir si le développement à tout va des outils informatiques est un gain pour les six milliards de terriens, ou seulement pour Bill Gates et ses semblables.*

*Je laisse à chacun le soin de réfléchir à cette question, et pendant ce temps, j'en profite pour remercier ceux qui ont partagé avec moi tous ces "à-côtés". J'ai une pensée particulière pour Hassen qui n'a pas bénéficié de conditions aussi favorables que les miennes et à qui on n'a pas laissé la possibilité de finir sa thèse.*

*Enfin, un dernier et grand merci à mes parents, pour leur aide pendant toutes ces années, mais aussi, et surtout, pour le regard sur le monde qu'ils m'ont donné.*



# Table des matières

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Table des figures</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>Notations</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>Introduction</b>   | <b>1</b>    |
| Prise en compte du temps . . . . .  | 1           |
| Les bases de données temporelles . . . . .                                | 2           |
| Contexte de travail . . . . .   | 3           |
| Organisation du document . . . . .  | 3           |
| <b>1 Modélisation temporelle d'une base de données</b>                    | <b>5</b>    |
| 1.1 Informations temporelles . . . . .                                    | 6           |
| 1.1.1 Valeurs temporelles . . . . .                                       | 6           |
| 1.1.2 Multigranularité . . . . .  | 8           |
| 1.1.3 Types temporels . . . . .   | 10          |
| 1.1.4 Calendriers . . . . .   | 14          |
| 1.2 Historiques . . . . .   | 16          |
| 1.2.1 Caractéristiques structurelles et temporelles des entités . . . . . | 16          |
| 1.2.2 Dimensions temporelles . . . . .                                    | 18          |
| 1.2.3 Modèles à valeurs . . . . .   | 22          |
| 1.2.4 Modèles à objets . . . . .  | 25          |
| 1.3 Langages . . . . .  | 26          |
| 1.3.1 Extension de l'algèbre relationnelle . . . . .                      | 26          |
| 1.3.2 Typologie de requêtes temporelles . . . . .                         | 29          |
| 1.3.3 Expression de requêtes dans différents langages . . . . .           | 30          |
| 1.3.4 Cas du bitemporel . . . . .   | 38          |
| 1.3.5 Mises à jour . . . . .  | 38          |
| 1.4 Architectures et prototypes . . . . .                                 | 40          |
| 1.4.1 Architectures classiques . . . . .                                  | 40          |
| 1.4.2 Prototypes : récapitulatif . . . . .                                | 40          |
| 1.5 Vers un serveur temporel . . . . .                                    | 43          |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>2</b> | <b>Tempos : Modèle du temps</b>   | <b>45</b> |
| 2.1      | Unités d'observation du temps . . . . .                                       | 45        |
| 2.1.1    | Partition du temps . . . . .  | 46        |
| 2.1.2    | Relation d'ordre <i>est plus fine</i> sur les unités d'observations . . . . . | 47        |
| 2.1.3    | Construction de la relation <i>est plus fine</i> . . . . .                    | 48        |
| 2.1.4    | Relation de régularité entre deux unités d'observations . . . . .             | 50        |
| 2.2      | Spécification des types temporels de base . . . . .                           | 51        |
| 2.2.1    | Durées et instants . . . . .  | 51        |
| 2.2.2    | Fonctions sur les instants et les durées . . . . .                            | 53        |
| 2.2.3    | Traitement d'instant et de durées d'unités différentes . . . . .              | 56        |
| 2.3      | Représentations multigranulaires d'instant . . . . .                          | 58        |
| 2.3.1    | Forme irréductible et formes multigranulaires . . . . .                       | 59        |
| 2.3.2    | Conversion entre formes . . . . .   | 59        |
| 2.4      | Ensembles d'instant . . . . .   | 61        |
| 2.4.1    | Intervalles . . . . .   | 61        |
| 2.4.2    | D <sub>s</sub> séquences : séquences d'intervalles discontinus . . . . .      | 65        |
| 2.4.3    | Séquences d'instant périodiques . . . . .                                     | 65        |
| 2.4.4    | Structuration d'ensembles d'instantΓCalendriers . . . . .                     | 68        |
| 2.4.5    | Exemples de manipulation de séquences d'instant . . . . .                     | 70        |
| 2.5      | Représentation externe des valeurs temporelles . . . . .                      | 72        |
| 2.5.1    | Diversité des formes externes . . . . .                                       | 72        |
| 2.5.2    | Formats . . . . .   | 73        |
| <b>3</b> | <b>Tempos : Historiques</b>   | <b>77</b> |
| 3.1      | Proposition pour un modèle d'historiques . . . . .                            | 77        |
| 3.1.1    | Caractéristiques des historiques . . . . .                                    | 78        |
| 3.1.2    | Modalités de construction des historiques . . . . .                           | 78        |
| 3.1.3    | Représentation des historiques . . . . .                                      | 80        |
| 3.1.4    | Représentation des chroniques . . . . .                                       | 81        |
| 3.1.5    | Types associés au modèle d'historiques . . . . .                              | 83        |
| 3.2      | Opérations de consultation . . . . .  | 86        |
| 3.2.1    | Projection et restriction temporelle . . . . .                                | 87        |
| 3.2.2    | Produit naturel temporel . . . . .  | 89        |
| 3.2.3    | Itérateurs . . . . .  | 90        |
| 3.3      | Opérations de mise à jour . . . . .   | 91        |
| 3.3.1    | Mise à jour des historiques . . . . .   | 91        |
| 3.3.2    | Opérations élémentaires . . . . .   | 92        |
| 3.3.3    | Opérations sur les attributs historiques . . . . .                            | 95        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>Tempos : Expérimentation</b>                         | <b>99</b>  |
| 4.1      | Architecture . . . . .                                  | 99         |
| 4.2      | Représentation du temps . . . . .                       | 100        |
| 4.2.1    | Types temporels . . . . .                               | 100        |
| 4.2.2    | Unités . . . . .  | 101        |
| 4.2.3    | Formats . . . . .                                       | 102        |
| 4.3      | Historiques . . . . .                                   | 102        |
| 4.3.1    | Types historiques . . . . .                             | 102        |
| 4.3.2    | Problèmes d'implantation . . . . .                      | 103        |
| 4.4      | Paramétrisation de la bibliothèque temporelle . . . . . | 104        |
| 4.4.1    | Définition de nouvelles unités . . . . .                | 104        |
| 4.4.2    | Définition de nouveaux systèmes d'unités . . . . .      | 104        |
| 4.4.3    | Définition de nouveaux formats . . . . .                | 105        |
| 4.5      | Préprocesseur TempOQL . . . . .                         | 105        |
| 4.5.1    | Réalisation du préprocesseur . . . . .                  | 105        |
| 4.5.2    | Exemples d'utilisation de TempOQL . . . . .             | 106        |
|          | <b>Conclusion</b>                                       | <b>109</b> |
|          | Bilan . . . . .   | 109        |
|          | Perspectives . . . . .                                  | 110        |
| <b>A</b> | <b>Exemple : l'entreprise Oplate</b>                    | <b>113</b> |
| A.1      | Position du problème . . . . .                          | 113        |
| A.1.1    | La source . . . . .                                     | 115        |
| A.1.2    | Les bouteilles . . . . .                                | 115        |
| A.1.3    | Les clients . . . . .                                   | 115        |
| A.1.4    | Les commandes . . . . .                                 | 116        |
| A.1.5    | Les camions . . . . .                                   | 116        |
| A.1.6    | Quelques requêtes . . . . .                             | 122        |
| A.2      | Modélisation en relationnel (Oracle) . . . . .          | 123        |
| A.2.1    | Schéma . . . . .  | 123        |
| A.2.2    | Requêtes . . . . .                                      | 126        |
| A.3      | Modélisation en TSQL 2 . . . . .                        | 131        |
| A.3.1    | Schéma . . . . .  | 131        |
| A.3.2    | Requêtes . . . . .                                      | 134        |
| A.4      | Modélisation en TempSQL . . . . .                       | 137        |
| A.4.1    | Schéma . . . . .  | 137        |
| A.4.2    | Requêtes . . . . .                                      | 139        |
| A.5      | Modélisation en objets ( $O_2$ ) . . . . .              | 141        |
| A.5.1    | Schéma . . . . .  | 141        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| A.5.2    | Requêtes . . . . .                              | 142        |
| A.6      | Modélisation en TOOSQL . . . . .                | 147        |
| A.6.1    | Schéma . . . . .                                | 147        |
| A.6.2    | Requêtes . . . . .                              | 148        |
| A.7      | Modélisation en TEMPOS . . . . .                | 152        |
| A.7.1    | Schéma . . . . .                                | 152        |
| A.7.2    | Requêtes . . . . .                              | 153        |
| <b>B</b> | <b>Application : séries chronologiques</b>      | <b>155</b> |
| B.1      | Position du problème . . . . .                  | 155        |
| B.1.1    | Séries chronologiques . . . . .                 | 155        |
| B.1.2    | Différents types de séries . . . . .            | 156        |
| B.1.3    | Modélisation OMT des séries . . . . .           | 157        |
| B.2      | Séries chronologiques et TEMPOS . . . . .       | 159        |
| B.2.1    | Représentation des séries dans TEMPOS . . . . . | 159        |
| B.2.2    | Extension de TEMPOS . . . . .                   | 159        |
| B.2.3    | Exemples de requêtes sur les séries . . . . .   | 161        |
| B.2.4    | Bilan . . . . .                                 | 162        |
| <b>C</b> | <b>Manipulation de séquences</b>                | <b>163</b> |
| C.1      | Constructeurs et sélecteurs de base . . . . .   | 163        |
| C.2      | Fonctions sur les séquences . . . . .           | 163        |
|          | <b>Bibliographie</b>                            | <b>167</b> |

# Table des figures

|      |  |    |
|------|--|----|
| 0.1  | Un exemple de base de données “classique” . . . . .                                      | 1  |
| 0.2  | Un exemple de base de données temporelle . . . . .                                       | 2  |
| 1.1  | Caractéristiques du modèle du temps de diverses propositions . . . . .                   | 6  |
| 1.2  | Unité de temps : partition . . . . .   | 10 |
| 1.3  | Unité de temps : discrétisation . . . . .  | 10 |
| 1.4  | Opérations standards entre les divers types temporels . . . . .                          | 11 |
| 1.5  | Relations de Allen [All83] . . . . .   | 12 |
| 1.6  | Relations sur les intervalles non-convexes [Lad86] . . . . .                             | 13 |
| 1.7  | Types temporels de base dans diverses propositions . . . . .                             | 13 |
| 1.8  | Collection d’instantants d’ordre 2 . . . . .   | 15 |
| 1.9  | Opération de décomposition . . . . .   | 15 |
| 1.10 | Opération de sélection . . . . .   | 16 |
| 1.11 | Caractéristiques structurelle et temporelle des entités . . . . .                        | 17 |
| 1.12 | Différents types d’historiques . . . . .   | 19 |
| 1.13 | Les différentes dimensions temporelles . . . . .   | 21 |
| 1.14 | Correction dans un historique bitemporel . . . . .                                       | 22 |
| 1.15 | Niveau d’observation des historiques dans le modèle relationnel . . . . .                | 24 |
| 1.16 | Historiques au niveau des n-uplets : décomposition en deux relations . . . . .           | 24 |
| 1.17 | Différentes descriptions des historiques dans les modèles à objets . . . . .             | 27 |
| 1.18 | Niveau d’observation des historiques dans les modèles à objets . . . . .                 | 27 |
| 1.19 | Extension du produit naturel au contexte temporel . . . . .                              | 29 |
| 1.20 | Propositions étudiées . . . . .  | 41 |
| 1.21 | Caractéristiques du modèle du temps de diverses propositions . . . . .                   | 42 |
| 2.1  | Une unité d’observation du temps définit une partition . . . . .                         | 46 |
| 2.2  | Propriétés des unités (d’après [WJS95]) . . . . .  | 47 |
| 2.3  | Unités comparables et non comparables selon la relation $\prec$ . . . . .                | 48 |
| 2.4  | La relation <i>est plus fine</i> entre unités d’observation . . . . .                    | 48 |
| 2.5  | Expansion et approximation d’un grain . . . . .  | 49 |
| 2.6  | La relation de régularité entre unités d’observation . . . . .                           | 50 |
| 2.7  | Simplification des fonctions de conversion pour les couples d’unités réguliers . . . . . | 51 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 2.8  | Hiérarchie des types temporels de base . . . . .  | 51  |
| 2.9  | Spécification abstraite du type durée . . . . .   | 52  |
| 2.10 | Spécification abstraite du type instant . . . . .   | 52  |
| 2.11 | Fonctions sur les instants et les durées de même unité d'observation . . . . .                      | 54  |
| 2.12 | Extension aux entiers des fonctions sur les instants et les durées . . . . .                        | 55  |
| 2.13 | Exemple d'expansion et d'approximation d'un instant . . . . .                                       | 56  |
| 2.14 | Expansion et approximation d'un instant . . . . .   | 57  |
| 2.15 | Formes irréductibles et formes multigranulaires . . . . .   | 60  |
| 2.16 | Spécification abstraite du type intervalle . . . . .  | 62  |
| 2.17 | Prédicats sur les intervalles . . . . .   | 63  |
| 2.18 | Opérations sur les intervalles . . . . .  | 64  |
| 2.19 | Opérations sur les D_séquences . . . . .  | 66  |
| 2.20 | Opérations sur les séquences d'instant périodiques . . . . .  | 67  |
| 2.21 | Représentation arborescente d'une 3_séquence . . . . .  | 68  |
| 2.22 | LesGroupes : partition d'une séquence selon une fonction . . . . .                                  | 68  |
| 2.23 | Construction de calendriers . . . . .   | 69  |
| 2.24 | Hiérarchie de types associés aux séquences d'instant . . . . .                                      | 70  |
| 2.25 | Reconnaissance d'une forme externe d'un instant . . . . .   | 74  |
| 2.26 | Format . . . . .  | 74  |
|      |   |     |
| 3.1  | Les divers types d'attributs historiques . . . . .  | 80  |
| 3.2  | Interprétation des instantanés effectifs suivant le type d'attribut historique . . . . .            | 81  |
| 3.3  | Représentations d'une chronique (les instants sont figurés par des entiers) . . . . .               | 82  |
| 3.4  | Le type Instantané . . . . .  | 83  |
| 3.5  | Le type Historique . . . . .  | 84  |
| 3.6  | Historiques en compréhension : le type Hist . . . . .   | 85  |
| 3.7  | Fonctions et sous-types de Chronique . . . . .  | 86  |
| 3.8  | Projection et restriction temporelles . . . . .   | 88  |
| 3.9  | Produits naturels temporels . . . . .   | 88  |
| 3.10 | Ajout d'un instantané à un historique en compréhension . . . . .                                    | 92  |
| 3.11 | Suppression d'un instantané d'un historique en compréhension . . . . .                              | 92  |
| 3.12 | Opérations de construction sur le type Chronique . . . . .  | 94  |
| 3.13 | Opérations de construction sur le type Hist . . . . .   | 94  |
| 3.14 | Opérations de mise à jour des attributs historiques réguliers . . . . .                             | 96  |
| 3.15 | Opérations de mise à jour des attributs historiques discretsΓen escalier ou<br>interpolés . . . . . | 97  |
|      |   |     |
| 4.1  | Architecture du prototype . . . . .   | 99  |
| 4.2  | Classes relatives aux types temporels . . . . .   | 100 |
| 4.3  | Classes relatives à la description des unités temporelles . . . . .                                 | 101 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.4  | Classes relatives aux formats . . . . .   | 102 |
| 4.5  | Classes relatives aux types historiques . . . . .   | 103 |
| 4.6  | Exemple d'utilisation de l'héritage pour les classes paramétrées . . . . .                  | 103 |
|      |   |     |
| A.1  | Modélisation OMT . . . . .  | 114 |
| A.2  | Attribut multivalué vs attribut historique . . . . .  | 114 |
| A.3  | La source . . . . .   | 117 |
| A.4  | Les bouteilles . . . . .  | 118 |
| A.5  | Les clients . . . . .   | 119 |
| A.6  | Les commandes . . . . .   | 120 |
| A.7  | Les camions . . . . .   | 121 |
| A.8  | Exemple de valeur pour les relations <b>BouteilleProd</b> et <b>BouteillePrix</b> . . . . . | 124 |
| A.9  | Exemple de valeur pour les relations <b>BouteilleProd</b> et <b>BouteillePrix</b> . . . . . | 132 |
| A.10 | Exemple de valeur pour la relation <b>Bouteille</b> . . . . .                               | 138 |
|      |   |     |
| B.1  | Exemple de série chronologique . . . . .  | 156 |
| B.2  | Modélisation OMT des séries . . . . .   | 157 |
| B.3  | Structure des descriptifs et des données de séries . . . . .                                | 158 |
| B.4  | Représentation d'une série brute . . . . .  | 159 |
| B.5  | Types de TEMPOS pour les séries . . . . .   | 160 |
|      |   |     |
| C.1  | Découpage d'une séquence selon une propriété . . . . .                                      | 165 |



# Notations

| Symbole                                    | Signification   |
|--|---|
| TYPE $T$                                   | définition du type $T$  |
| TYPE $T1 (T2)$                             | définition du type $T1$ paramétré par le type $T2$  |
| $\langle T1, T2, \dots, Tn \rangle$        | constructeur de n-uplets  |
| $\{T\}$                                    | constructeur d'ensembles  |
| $[T]$                                      | constructeur de séquences   |
| $T1 \rightarrow T2$                        | constructeur de fonctions   |
| $\lambda x1 \Gamma x2 \Gamma .. \bullet E$ | valeur de fonctions :<br>$\lambda$ introduit les noms des paramètres $x1, x2, ..$<br>$\bullet$ introduit l'expression $E$ décrivant la fonction |
| Nil  | valeur absente  |
| $\{ \textit{commentaires} \}$              | commentaire   |
| Instant ( $u$ )                            | instant observé à l'unité $u$   |
| Intervalle ( $u$ )                         | intervalle d'instants observés à l'unité $u$  |
| D_séquence ( $u$ )                         | D_séquence d'instants observés à l'unité $u$  |



# Introduction

## Prise en compte du temps

Les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) traditionnels offrent une vision instantanée du monde modélisé. L'état de la base est défini par la dernière mise à jour. L'évolution des données au fil du temps n'y est pas représentée dans la base de données. Lorsque la prise en compte de cette évolution est nécessaire l'historique des données doit être géré au niveau des programmes d'application ce qui en accroît la complexité. De plus l'expression et la manipulation de valeurs temporelles est souvent très limitée. Le seul type **date** est souvent là pour satisfaire à tous les besoins excluant d'office d'autres types de valeurs temporelles comme les durées ou les intervalles. De même le niveau de précision est couramment fixé au jour ou à la seconde mais il est impossible de prendre en compte des repères plus spécifiques comme par exemple les semestres ou les demi-journées etc.

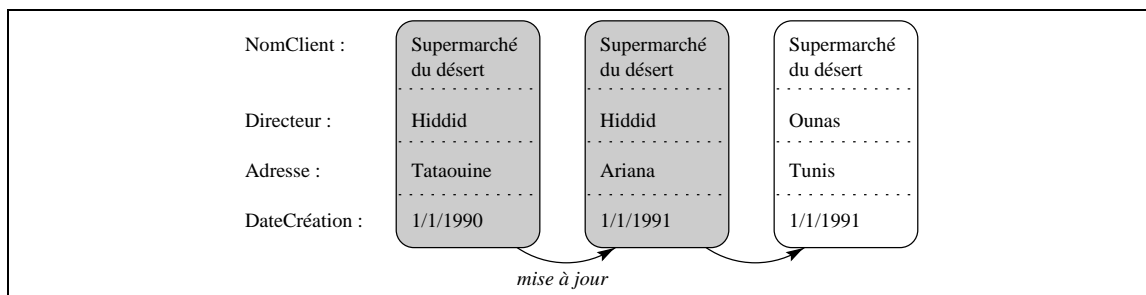


FIG. 0.1 – Un exemple de base de données “classique”

La figure 0.1 montre la valeur d'un objet dans une base de données “classique” ; il s'agit d'une fiche client d'une entreprise. La version courante de la base correspond au dernier bloc. Les blocs grisés correspondant à de précédents états de la base.

L'utilisateur peut interroger la base. Des requêtes possibles sont :

- Où est situé le client “Supermarché du désert” ?
- Qui a été le directeur du client “Supermarché du désert” après Mr Hiddid ?

Le SGBD ne peut répondre à cette deuxième requête : seul l'état courant est stocké dans la base de données.



Les bases de données temporelles visent à combler ces lacunes et permettent en particulier de dater les informations et de gérer leur historique.

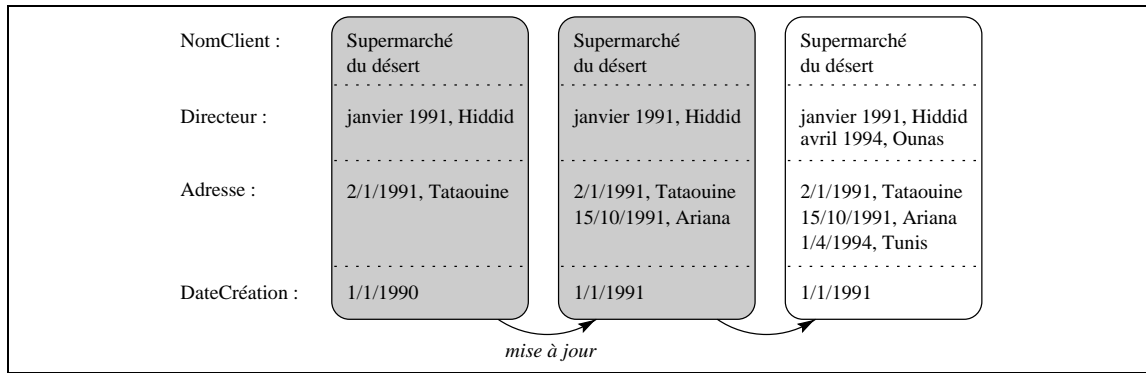


FIG. 0.2 – Un exemple de base de données temporelle

La figure 0.2 illustre l'exemple précédent dans le cadre d'une base de données temporelle. Dans ce cas certains attributs sont historisés alors que pour d'autres seule la dernière mise à jour est conservée comme dans une base de donnée "classique". Par exemple la première mise à jour indique que le "Supermarché du désert" est situé à Ariana depuis le 15/10/1991 (ce fait est daté et la valeur précédente conservée) et que la date de création de ce client est en fait le 1/1/1991 (la valeur précédente est perdue).

Il est maintenant possible de répondre à des requêtes telles que :

- Qui a été directeur après Mr Hiddid ?
- Combien de temps le client "Supermarché du désert" est-il resté à Tataouine ?

On peut remarquer dans cet exemple que les valeurs temporelles ne sont pas toutes exprimées à la même granularité : le jour pour l'adresse, le mois pour le directeur. Enfin cet exemple illustre différents types temporels : instants pour dater les informations mais également des durées pour répondre à la deuxième requête.

## Les bases de données temporelles

Les travaux relatifs aux bases de données temporelles visent à intégrer toutes les fonctionnalités nécessaires à la prise en compte du temps dans les SGBD.

Dans le domaine de la recherche l'organisation de conférences spécialisées [TAI87, TIM95], la parution régulière de synthèses [Mac86, ANC87, TAI87, Sno88, Soo91, Sno92, Sno93, Sno94, FS95], un ouvrage [TCG<sup>+</sup>93] et de très nombreux articles montrent la variété des études qui ont été menées, leur prise en compte dans divers SGBD et la stabilisation progressive des concepts [JSS93, JCE<sup>+</sup>94].

En particulier dans le cadre des SGBD relationnels la communauté scientifique est arrivée à la proposition de TSQL 2. La possible intégration de ces résultats à SQL 3 confirmera encore le modèle proposé comme standard (types temporels et langage de requêtes). Dans le cadre des SGBD à objets les travaux sont plus hétérogènes.

Un point important des bases de données temporelles est l'accroissement de la complexité des requêtes. Cela se vérifie dès leur expression en langage naturel et cela augmente sensiblement avec la prise en compte de plusieurs dimensions temporelles. Il est donc nécessaire de définir des langages de haut niveau facilement utilisables par les utilisateurs.

## Contexte de travail

Le modèle TEMPOS présenté ici vise à étendre un SGBD à objets par les fonctionnalités nécessaires pour le rendre temporel. Il intègre en particulier les concepts et résultats déjà acquis dans les travaux actuels sur les bases de données temporelles qu'elles soient relationnelles ou à objets.

De plus il offre des niveaux d'abstraction adéquats à la mise en oeuvre de raisonnements temporels indépendants du type d'historique manipulé et de son implantation.

Il s'agit pour cela de définir un modèle temporel de données de le formaliser de réaliser un prototype au dessus du SGBD O<sub>2</sub> [Tec95Deu90] et de valider l'ensemble par diverses expérimentations.

Le modèle TEMPOS unifie les divers concepts nécessaires à la modélisation du temps et des historiques. Il est formalisé par la spécification fonctionnelle d'une hiérarchie de types. Sa validation est en cours d'un côté par la réalisation d'un prototype et d'un autre côté par l'application du modèle proposé au cas des séries chronologiques.

Ce travail fait partie du projet STORM (Structure et Temporalité des Objets Réactifs Multimédias) [Gir95Adi96CC96FCS97bFCS97aSFCS98] qui traite plus largement de l'extension des SGBD à objets par de nouvelles fonctionnalités spécifiques aux aspects structurels temporels et actifs de données multimédias.

L'étude de la manipulation de données temporelles a fait l'objet d'un contrat avec la société Thomson/RCC. Une partie du prototype a été réalisé dans ce contexte. Nous avons par ailleurs lors de cette collaboration concrétisé notre étude dans le cadre d'une application industrielle confidentielle.

## Organisation du document

Le chapitre 1 décrit un état de l'art des travaux du domaine des bases de données temporelles relationnelles ou à objets en matière de représentation du temps et de modélisation des historiques.

Le chapitre 2 présente le modèle de représentation du temps de TEMPOS : notion d'unité d'observation du temps, types temporels, représentations multigranulaires de valeurs temporelles et manipulation de séquences d'instant. Le chapitre 3 est relatif au modèle d'historiques de TEMPOS : classification et caractérisation des historiques, types historiques, opérations de consultation et de mise à jour. Le chapitre 4 décrit l'implantation de TEMPOS réalisée au dessus du SGBD O<sub>2</sub>.

L'annexe A décrit en détail une application (l'entreprise Oplate) où il est nécessaire de manipuler des historiques. Cet exemple nous sert à illustrer les notions présentées au cours de ce document. Cette annexe présente donc les différents éléments relatifs à l'application et propose quelques requêtes significatives dans ce contexte. Cet exemple est ensuite modélisé dans différents environnements (relationnels ou à objets) temporels ou non. Les requêtes sont exprimées dans les langages propres à chaque système.

L'annexe B présente une application de TEMPOS pour la modélisation de séries chronologiques.

L'annexe C définit les opérations de manipulation de séquences que nous utilisons largement dans le modèle TEMPOS.

# Chapitre 1

## Modélisation temporelle d'une base de données

Une information temporelle est une association dans laquelle interviennent des *valeurs temporelles* Γ dates ou périodes Γ employées pour marquer un événement Γ par exemple Γ “la société a ouvert le 1<sup>er</sup> janvier 1990” Γ “le contrôle technique doit avoir lieu tous les 2 ans”. Les informations temporelles servent d'une part à mesurer des durées (la durée moyenne entre deux commandes Γ la durée de validité d'une information Γ la durée de vie d'une entité dans une base de données Γ etc) et d'autre part à raisonner sur la succession entre événements (“les commandes du client le plus ancien”) ou leur simultanéité (“quel était son adresse quand il a passé la commande numéro 49125?”). On peut ainsi déduire la validité de faits (“Oplate a 7 ans” Γ “le mois prochain Γ il faut faire un contrôle”) Γ observer l'évolution des informations dans le temps (“les ventes des 10 derniers mois”) Γ déclencher des événements (“une facture doit être imprimée le dernier jour de chaque mois”) Γ contrôler l'intégrité des données (“le prix d'une bouteille augmente si sa capacité augmente”) Γ etc.

Le temps apparaît comme une dimension spécifique dans la modélisation d'une base de données dès lors que l'on veut prendre en compte son évolution. Les valeurs temporelles intervenant dans une base de données jouent ainsi un rôle particulier pour dater les événements qui marquent la “vie” des composants observés : apparition Γ disparition ou changement d'état.

Cette évolution peut concerner aussi bien les données que le schéma. Un schéma contient la définition des classes Γ des types d'une base de données. Une base contient des instances de ces classes Γ représentant autant d'entités du monde réel. Les mécanismes d'évolution de schéma sont spécifiés [JCE<sup>+</sup>94] comme permettant de faire évoluer le schéma sans perte de données. Une synthèse des travaux dans ce domaine se trouve dans [Rod92 Γ Ben94 Γ BF97].

Nous ne traitons ici que l'évolution des données.

L'*historique* (*history*<sup>1</sup>) d'un composant d'une base de données est ce que l'on veut retenir de son histoire c'est-à-dire une suite chronologique des états considérés comme pertinents lors de son évolution dans le temps.

## 1.1 Informations temporelles

La question de la modélisation du temps est centrale dans les bases de données temporelles (voir par exemple [CR87, MP93, WJS95]) et plus largement dans les systèmes d'information (voir par exemple [TAI87, CLR89, MBJK90, Cas93]). Sur un plan formel les travaux s'appuient sur les diverses logiques temporelles (par exemple [Tur86]) qui fondent entre autres le raisonnement temporel en Intelligence Artificielle (voir par exemple [BL89, Ha91]) ou certaines méthodes de spécification et de vérification de programmes (voir par exemple [MP92]). De manière générale le raisonnement temporel est basé sur la définition d'un domaine d'entités primitives (points ou intervalles ou les deux) et de relations d'ordre total ou partiel et dont les propriétés expriment les différences entre les modèles discrets, denses ou continus. L'état de l'art donné dans [Sch95] fournit une analyse des résultats utiles aux bases de données temporelles. De plus les modèles numériques incluent la notion de durée par la définition d'une métrique.

### 1.1.1 Valeurs temporelles

Les SGBD temporels visant à modéliser une évolution donnée d'un ensemble d'entités la plupart des travaux s'appuient sur un modèle du temps linéaire et discret (Cf. figure 1.21). On notera toutefois que l'algèbre temporelle proposée dans [DBS96] est fondée sur un modèle continu et que dans TIGUKAT [GO93] la hiérarchie de types est organisée de manière à pouvoir traiter aussi des modèles arborescents discrets, denses ou continus [GLOS97].

| Propositions | Densité                     | Linéaire/Arborescent    |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|
| SQL 2        | discret                     | linéaire                |
| TSQL 2       | discret                     | linéaire                |
| [DBS96]      | continu                     | linéaire                |
| TFDL         | discret                     | linéaire                |
| ODMG         | discret                     | linéaire                |
| OSAM*/T      | discret                     | linéaire                |
| TF-ORM       | discret                     | linéaire                |
| TIGUKAT      | discret et dense ou continu | linéaire ou arborescent |
| OODAPLEX     | discret et dense ou continu | linéaire ou arborescent |

FIG. 1.1 – *Caractéristiques du modèle du temps de diverses propositions*

1. Les termes anglais entre parenthèses sont ceux du glossaire [JCE<sup>+</sup>94], sauf indication spécifique.

Dans les systèmes d'information on utilise en général un modèle discret. Cela conduit à définir le *degré de granularité* auquel on observe le temps. Chaque niveau de granularité fixe la taille des grains de temps que l'on manipule. Le *chronon* correspond aux grains les plus fins d'un système donné. Situer un événement à une granularité donnée par exemple l'heure signifie qu'à un niveau d'observation plus fin par exemple la demi-heure l'événement se produit à l'un des grains plus fins.

Le temps est ainsi vu comme un ensemble de grains de temps muni d'une relation d'ordre que l'on peut schématiser par une droite sur laquelle chaque grain apparaît comme un point. De plus on peut borner cette droite par exemple en admettant l'existence de deux instants particuliers qui en marquent les limites. Enfin comme l'on s'intéresse à l'évolution dans le temps l'un des points représente l'instant présent par rapport à la réalité ou par rapport au discours.

Une *durée (duration)* est une quantité de temps ("la production a été arrêtée 10 jours"). Cette notion est formalisée par la définition d'une fonction de distance.

Un *événement (event)* peut être situé dans le temps en *absolu* par son association à un grain de temps à un niveau de granularité donné indépendamment de tout autre événement (*absolute time*) par exemple "le camion immatriculé 4856 VG 38 a été acheté le 12 février 1993". Mais un événement peut aussi être situé *relativement* à d'autres informations (*relative time*) par exemple "il a été acheté trois ans après le premier camion".

Une *période (span)* est un espace de temps plus ou moins long ("la période de validité d'un contrôle" "une période de sécheresse"). Cet espace est délimité par des événements particuliers (deux contrôles techniques l'observation de seuils de débit de la source). Dans certains contextes une période caractérise un phénomène précis en général répétitif et sa durée est bien déterminée: "la période d'incubation" "la période de radioactivité d'un élément chimique" "la période d'un pendule" "la période d'une fonction" etc.

La droite du temps est communément découpée en diverses périodes de temps définies les unes par rapport aux autres: l'année est découpée en mois le mois en jours le jour en heures etc mais l'année est aussi découpée en semaines et les semaines en jours. Certaines périodes ont des durées fixes (*fixed span*): une heure vaut 60 minutes une semaine vaut 7 jours etc. D'autres périodes ont des durées variables selon le contexte (*variable span*): une année vaut 366 ou 365 jours selon qu'elle est bissextile ou non un mois vaut de 28 à 31 jours. Une période permet d'exprimer des temps relatifs ou de définir la périodicité d'un événement par exemple "la paye est mensuelle" "l'entreprise est fermée en Août" etc.

Pour dénoter les valeurs temporelles on se réfère à un *calendrier* qui peut être lié à la culture par exemple un calendrier grégorien ou un calendrier musulman à un domaine d'application par exemple un calendrier universitaire ou un calendrier fiscal etc. Plus généralement un *système calendaire* correspond à une évolution des calendriers dans le temps. Par exemple en Occident on est passé du calendrier romain au calendrier julien puis au calendrier grégorien avec en France une courte période utilisant le calendrier révolutionnaire [Cou86].

Un calendrier définit les périodes de temps sur lesquelles il s'appuie d'une part pour offrir plusieurs niveaux de granularité et d'autre part pour fixer les conventions de représentation. Ces périodes permettent de nommer les grains aussi bien que de fixer le système d'unités dans lequel sont formulées les durées. En effet un grain est généralement caractérisé par le temps écoulé depuis un grain de référence. Un calendrier comporte aussi des règles d'usage comme celles qui fixent un changement d'heure selon la période de l'année ou selon la situation géographique. Enfin un calendrier comporte une variété de formes d'expression des valeurs temporelles en tenant compte par exemple de la langue (1/2/97 change de sens en anglais ou en français) et établit la correspondance vis-à-vis d'autres calendriers (le jeudi de la semaine 52 en 1997 est aussi le 25/12/1997).

### 1.1.2 Multigranularité

Selon les objectifs assignés au SGDB celui-ci doit permettre à l'utilisateur de s'exprimer selon les conventions définies par le calendrier de son choix au niveau de granularité qu'il désire. Au minimum le système doit s'appuyer sur une sémantique précise sur des barrières d'abstraction adéquates distinguant les formes d'expression de valeurs temporelles et leur représentation et sur une architecture permettant des évolutions futures. Dans la forme la plus sophistiquée on doit permettre l'intégration de tout système calendaire et la cohabitation de plusieurs calendriers [SS92CSS94].

Le degré de granularité peut être choisi différemment selon l'application ou au sein d'une même application selon les événements considérés ou même encore pour un événement donné la granularité peut varier suivant le point de vue auquel on se place. La précision peut également être limitée par celle des instruments de mesure utilisés pour l'observation. Dès lors que des informations temporelles de granularités différentes sont confrontées on doit préciser la sémantique des opérateurs mis en jeu (voir par exemple [Sar93] § 5.3.5). Pour préciser la correspondance entre deux niveaux de granularité on doit pouvoir distinguer les cas où un événement ne se produit qu'à certains des grains plus fins (par exemple : "le contrôle technique doit être fait en Août") et les cas où l'événement se produit à tous ces chronons (par exemple : "le guichet est ouvert de 8h à 12h") [Kou94].

Nous illustrons quelques uns de ces besoins dans le cas de notre entreprise Oplate.

- *Un phénomène peut être considéré selon plusieurs points de vue* [Hob85Euz94] :

Par exemple les dates des contrôles techniques des camions sont stockées dans la base de données au niveau du jour. Cependant pour vérifier l'existence d'un contrôle (par exemple) l'année est un niveau d'observation plus adéquat : "y a-t-il eu un contrôle en 1995?". Le niveau maximal de détail n'est pas forcément utile et suivant le contexte on ne souhaite qu'une approximation de la réalité : "il y a eu un contrôle en 1995" suffit comme réponse inutile de dire qu'il a eu lieu le 25 octobre.

– *Précision adaptée à l'information :*

L'évolution de la production des bouteilles est suivie à la granularité du jour. L'historisation de la production et celle des ventes  $\Gamma$  permettent de calculer le stock journalier. Si ces observations étaient faites toutes les heures  $\Gamma$  le stock calculé serait trop fluctuant (par exemple en fonction des heures de livraisons) et donc inexploitable. Inversement  $\Gamma$  observés tous les mois  $\Gamma$  l'usine ne serait pas capable de réagir à temps à une augmentation brutale des ventes  $\Gamma$  par exemple.

Le débit de l'eau est observé toutes les heures. En effet  $\Gamma$  il peut varier rapidement  $\Gamma$  et il est nécessaire d'ajuster le rythme de production en conséquence.

Pour permettre la prise en compte de cette multigranularité  $\Gamma$  plusieurs travaux proposent la notion d'unité de temps qui permet de donner un cadre formel à la manipulation de ces valeurs temporelles considérées à des granularités diverses.

[CR87] propose de décrire les unités temporelles par regroupement consécutifs de grains  $\Gamma$  en partant des chronons. Les regroupements ne sont pas quelconques  $\Gamma$  il s'agit de partitions successives (*constructed intervallic partition*). Cette approche ne fournit que des structures linéaires (*temporal universe*)  $\Gamma$  et le cas des unités mois et semaines  $\Gamma$  qui sont deux partitions différentes et non comparables des jours  $\Gamma$  n'est pas pris en compte.

Dans [WJ93  $\Gamma$  WJS95]  $\Gamma$  une unité temporelle (*time unit*) est une partition de l'ensemble des chronons (Cf. figure 1.2) définie par une fonction  $u$  de  $\mathbb{N}$  dans  $2^{\mathbb{N}}$  ayant les propriétés suivantes :

- $\forall i \in \mathbb{N}, \exists j \in \mathbb{N}$  tel que  $i \in u(j)$   
 { Couverture du domaine temporel }
- $\forall i_1, i_2, i_3 \in \mathbb{N}$  tels que  $i_1 < i_2 < i_3, \{i_1, i_3\} \subset u(i) \Rightarrow i_2 \in u(i)$
- $\forall i, j \in \mathbb{N}, i \neq j \Rightarrow u(i) \cap u(j) = \emptyset$   
 { Partition du domaine en intervalles disjoints }
- $0 \in u(0)$   
 { Alignement des origines }

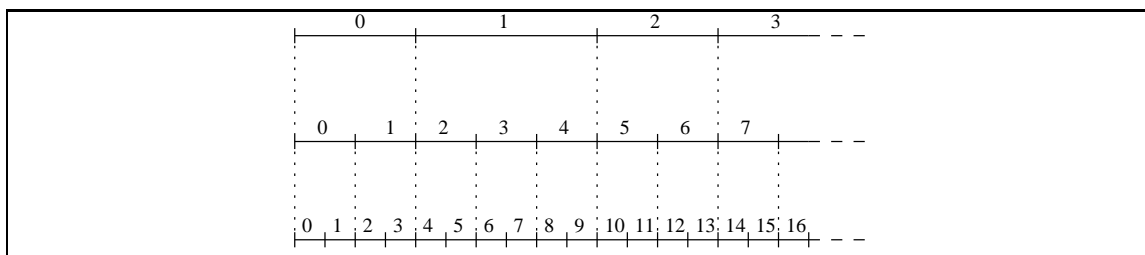


FIG. 1.2 – *Unité de temps : partition*



La définition précédente implique que toutes les unités commencent à l'origine que un grain d'une unité est un morceau continu du temps que deux grains ne se chevauchent pas et qu'il y a pas de trou entre deux grains.

Une unité est *régulière* si tous ses grains se décomposent en un même nombre de chronons.

La figure 1.2 montrant bien la partition de la droite du temps peut à ce titre induire en erreur car la partition est visualisée par des intervalles d'une certaine longueur. La figure 1.3 montre la discrétisation du temps réalisée par le partitionnement des unités.

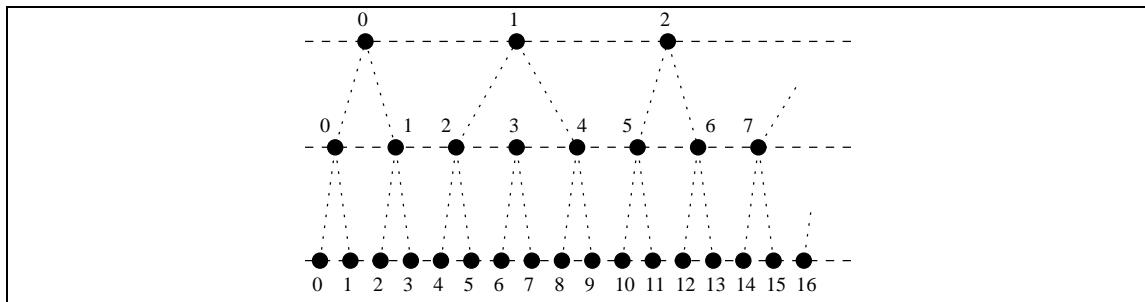


FIG. 1.3 – *Unité de temps : discrétisation*

Dans [CCMP93FBWJ96] on trouve une formalisation similaire où la droite du temps est décrite par domaines temporels (unités) ordonnés suivant leur granularité.

De plus dans [CCMP93] les auteurs proposent pour les opérations de conversions de prendre des mesures de granularité constantes. Cela revient par exemple à considérer des mois légaux de 30 jours.

[CD95] propose une démarche inverse où les unités sont décomposées en unités plus fines. Une propriété d'alignement garantit que les grains d'une unité coïncident avec les grains de l'unité supérieure. A partir d'un nombre réduit d'unités primitives il est possible de définir de nouvelles unités à l'aide de composition ou décomposition.

### 1.1.3 Types temporels

Dans tous les travaux durées instants et intervalles sont des valeurs temporelles de base que l'on peut manipuler plus ou moins directement par des opérations standards (relations d'ordre opérations arithmétiques etc). Celles-ci sont largement détaillées dans le projet TEMPIS [SS92SSD<sup>+</sup>92] également dans TSQL 2 [Sno95b]) et la figure 1.4 en présente un récapitulatif (il s'agit d'opérateurs binaires dont la première opérande est dans la colonne verticale et la seconde dans la colonne horizontale).

- Un *instant* (*instant absolute time* dans [LBG93]) est un point particulier de la droite du temps. Il est considéré comme atomique et n'a pas de durée relativement à son unité d'observation.

Exemples : le “14 juillet 1997” dans l’unité jour  $\Gamma$  “novembre 1997” dans l’unité mois.

On dispose de diverses opérations : égalité  $\Gamma$  relation d’ordre  $\Gamma$  durée entre deux instants  $\Gamma$  ajout ou retrait d’une durée à un instant  $\Gamma$  etc. Des fonctions particulières dénotent les instants associés à l’horloge du système (*now*) et aux extrémités de la droite du temps (*beginning*, *forever*).

- Une *durée* (*span*  $\Gamma$  *duration* dans [LBG93]) est un espace de temps. Une durée est parfois définie comme un intervalle non-ancré sur la droite du temps (donc caractérisé uniquement par sa longueur)<sup>2</sup>.

Exemples : 4 heures  $\Gamma$  2 mois.

Il est possible de convertir des durées exprimées dans des unités régulières vers d’autres unités régulières. Par exemple  $\Gamma$  une durée de 10 jours est égale à une durée de 240 heures. Par contre  $\Gamma$  les durées exprimées dans des unités non régulières posent problème. En effet  $\Gamma$  leur interprétation dépend du contexte : une année correspond  $\Gamma$  selon le cas  $\Gamma$  à 365 ou 366 jours.

- Un *intervalle* (*time interval*) est un segment de la droite du temps  $\Gamma$  délimité par deux instants précis ([Lad86] parle d’*intervalle convexe*). C’est un ensemble de grains adjacents deux à deux.

Exemple : [1 juin 1997  $\Gamma$  15 juin 1997].

---

2. Ceci explique probablement le choix du nom (*interval*) du type SQL 2, ce qui génère une certaine confusion.

| Op1 \ Op2        | Instant  | Durée   | Intervalle   | Elément temporel   |
|------------------|--|---|--|--|
| Instant          | Durée séparation<br>Relations (= $\Gamma$ <)                                 | Décaler   | Relations<br>(avant $\Gamma$ après $\Gamma$<br>appartient) | Relations<br>(avant $\Gamma$ après $\Gamma$<br>appartient) |
| Durée            |  | Somme<br>Différence   |  |  |
| Intervalle       | Relations<br>(avant $\Gamma$ après $\Gamma$<br>contient)                     | Décaler<br>Allonger<br>Raccourcir                                       | Intersection<br>Relations [All83]                          | Relations<br>(avant $\Gamma$ après $\Gamma$<br>appartient) |
| Elément temporel | Ajout<br>Retrait<br>Relations<br>(avant $\Gamma$ après $\Gamma$<br>contient) | Décaler<br>Allonger<br>Raccourcir<br>( <i>un/tous les intervalles</i> ) | Opérations<br>ensemblistes<br>Relations                    | Opérations<br>ensemblistes<br>Relations [Lad86]            |

FIG. 1.4 – Opérations standards entre les divers types temporels

La durée d'un intervalle est le nombre de grains qu'il comporte. On dispose par ailleurs des opérations ensemblistes usuelles et on peut les particulariser lorsque le résultat est un intervalle (voir par exemple [Sar93] § 5.3).

Il existe une variété de relations entre intervalles comme par exemple l'antériorité (un intervalle précède un autre) la rencontre (deux intervalles se joignent) le chevauchement l'inclusion la simultanéité etc. (Cf. figure 1.5). Leur étude exhaustive est à la base de la logique temporelle proposée par Allen [All83] (voir aussi l'axiomatisation donnée dans [KJ93] fondée sur un ensemble discret d'intervalles et de points).

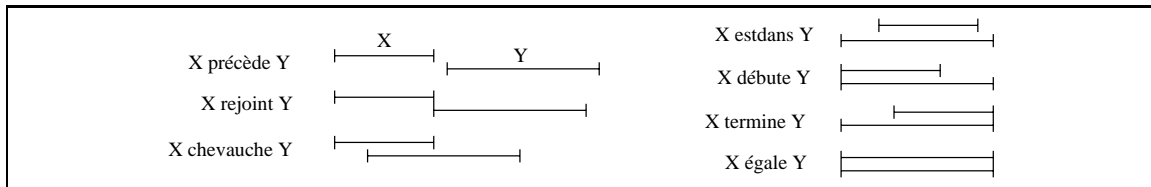


FIG. 1.5 – *Relations de Allen [All83]*

Des opérations particulières établissent le lien entre instants et intervalles les unes pour déterminer l'ensemble des instants d'un intervalle et les autres pour construire des intervalles par regroupement d'instantes ou d'intervalles. Elles sont à la base d'opérations fondées sur la partition d'un ensemble d'informations temporelles (par exemple les n-uplets d'une relation) selon les valeurs des attributs non temporels et permettant des regroupements ou des expansions [BSS96] (*Fold-Unfold* [Lor93] *Coalesce-Expand* [Sar93]) *Nest-Unnest* [Tan93]).

- Un *élément temporel* (*temporal element* dans [JCE<sup>+</sup>94] *coalesced temporal element* dans [BCTP95] *interval* ou *non convex interval* dans [Lad86] *generalized interval* dans [Yu 83]) est une union finie d'intervalles de temps disjoints. Cette notion permet de décrire des valeurs temporelles discontinues par exemple “les guerres mondiales” ou dans le cadre d'Oplate “les périodes où le débit de la source est inférieur à 1 m<sup>3</sup>/s”.

Exemple: { [1914Γ1918]Γ[1939Γ1945] }.

Les résultats de toutes les opérations de manipulation entre éléments temporels d'une part et instants intervalles ou autres éléments temporels d'autre part sont des éléments temporels. En particulier les opérations ensemblistes permettent de combiner des éléments temporels entre eux. Un élément temporel peut être étendu (respectivement restreint) par ajout (respectivement par soustraction) d'instantes ou d'intervalles. [Lad86] présente un ensemble de relations associées aux intervalles généralisés à partir de combinaisons des relations de Allen. La figure 1.6 présente quelques unes de ces relations.

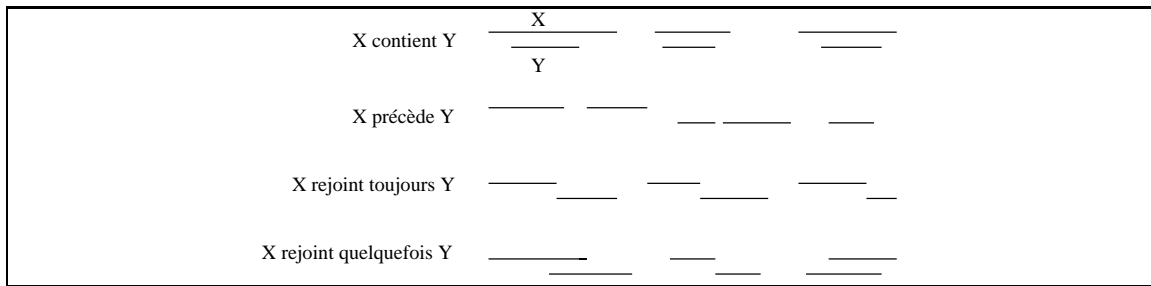


FIG. 1.6 – Relations sur les intervalles non-convexes [Lad86]

Le tableau de la figure 1.7 indique pour chacune des principales propositions les types temporels de base disponibles. Pour certains travaux il appelle quelques commentaires.

| Propositions                    | Instants                  | Intervalles      | Durées                      | Eléments temporels      |
|---------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Oracle                          | date                      |                  | opérations avec les entiers |                         |
| SQL 2                           | date<br>time<br>timestamp | (date-date)      | interval                    |                         |
| TSQL 2                          | date<br>time<br>timestamp | period           | interval                    | <i>temporal element</i> |
| O <sub>2</sub>                  | date                      |                  | opérations avec les entiers |                         |
| TF-ORM                          | instant                   | interval         | span                        |                         |
| TIGUKAT                         | instant                   | interval         | span                        |                         |
| OODAPLEX                        | point                     | region           |                             | { point }               |
| MCO                             | date                      | tranche de temps | délai                       |                         |
| Glossaire [JCE <sup>+</sup> 94] | instant                   | time interval    | span                        | temporal element        |

FIG. 1.7 – Types temporels de base dans diverses propositions

#### – Oracle

Le type **date** correspond à un instant exprimé dans les unités siècle/année/mois/jour/heure/minute/seconde. Lorsque l'utilisateur fournit une date à une précision plus grossière que la seconde (par exemple juin 1997) le système affecte une valeur par défaut pour chaque unité omise (pour cet exemple: 1<sup>er</sup> juin 1997 12 h 0 min 0 s).

La notion de durée n'existe pas en tant que telle. Par contre il existe des opérations particulières qui permettent de considérer les entiers comme des durées dans une certaine unité. Par exemple l'ADD\_MONTHS(d, n) ajoute n mois à la date d. Si le numéro de jour

n'est pas compatible avec la date obtenue (par exemple `ADD_MONTHS('31/01/1997', 1)`) alors le résultat est le dernier jour du mois (ici le résultat est le '28/02/1997'). Il est possible de connaître la durée séparant deux dates Oracle donne un entier qui correspond au nombre de jours de séparation.

## – **O<sub>2</sub>**

Le type **date** correspond à un instant exprimé dans les unités année/mois/jour.

Comme avec Oracle la notion de durée n'existe pas mais des opérations permettent d'ajouter des jours des mois ou des années en manipulant simplement des entiers.

Il faut noter que le type **date** n'est pas un type primitif de O<sub>2</sub> mais une classe de la boîte à outils standard. L'utilisateur peut donc définir une ou plusieurs autres classes plus sophistiquées.

## – **SQL 2**

Il existe plusieurs types correspondant aux instants. Ceux-ci se différencient par leur granularité. Par exemple le type **date** est à la granularité du jour alors que le type **time** est à la granularité de la seconde.

Le type intervalle n'existe pas directement dans SQL 2. Par contre des opérateurs (comme **OVERLAPS**) prennent en paramètre quatre instants et les manipulent comme deux intervalles (mais ceux-ci ne sont jamais construits en tant que tels).

## – **TSQL 2**

Le type **timestamp** permet d'exprimer un instant à n'importe quelle granularité. Les types **date** et **time** ne sont que des raccourcis syntaxiques et ne sont là que pour maintenir la compatibilité avec SQL 2.

Le type **temporal element** n'existe pas en tant que tel parmi les types temporels définis en TSQL 2. Pourtant la période de validité (Cf. section 1.2) associée aux n-uplets dans les relations historiques est un élément temporel et le langage d'interrogation dispose d'opérations de manipulation de ces valeurs.

### 1.1.4 Calendriers

Un calendrier (*calendar*) est une interprétation particulière du temps [JCE<sup>+</sup>94]. C'est un ensemble de valeurs temporelles (instants) significatives pour un utilisateur. Le calendrier grégorien par exemple fixe la décomposition du temps en années mois jours etc. On peut définir des calendriers d'utilisation plus restreinte pour parler par exemple des jours ouvrés des premiers mardis de chaque mois etc. Ils s'agit de collections structurées d'instants les éléments temporels en sont un exemple offrant une structuration à un seul niveau.

La manipulation des calendriers est développée dans plusieurs travaux [LMF86][CSS94][CD95][LEW96]; les opérations proposées se partagent en deux catégories. D'une part les opérations décrivant le découpage du temps et celles-ci sont souvent proches de la description d'unités temporelles évoquée dans la section 1.1.2.

D'autre part les opérations permettant de manipuler ces valeurs afin de les structurer (par exemple découper un mois en jour) ou de les affiner (par exemple ne garder que les mardis parmi les jours de la semaine ou bien encore ne garder que le mois de janvier etc). En combinant ces opérations entre elles il est possible d'obtenir par exemple l'ensemble des mardis des mois de janvier. Nous les détaillons dans cette section.

Selon les travaux les calendriers sont représentés par des éléments temporels ou bien par des collections d'instant ou d'intervalles à  $n$  niveaux (l'ordre d'une collection correspond à sa profondeur). Une collection d'ordre 2 est par exemple l'ensemble des mois d'une année ou pour chaque mois on dispose de l'ensemble de ses jours (Cf. figure 1.8 cas d'une année non bissextile).

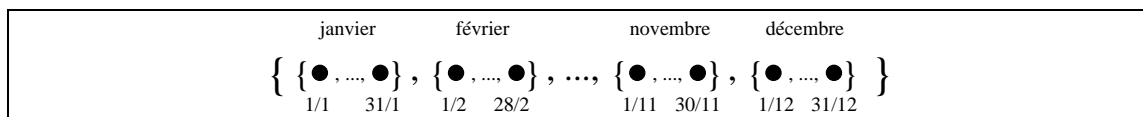


FIG. 1.8 – Collection d'instant d'ordre 2

Un opérateur de *décomposition* (*decomposition* dans [CD95] *dicing* dans [LMF86]) découpe un intervalle en des sous-intervalles par exemple une année en les mois qui la composent (Cf. figure 1.9).

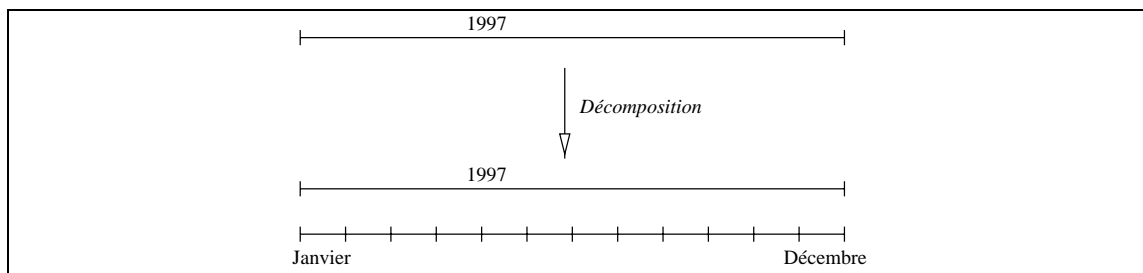


FIG. 1.9 – Opération de décomposition

Un opérateur de *sélection* (*slicing* dans [LMF86] *select* dans [LEW96]) permet de ne retenir que certains intervalles d'une collection par exemple les mardis de chaque semaine (Cf. figure 1.10).

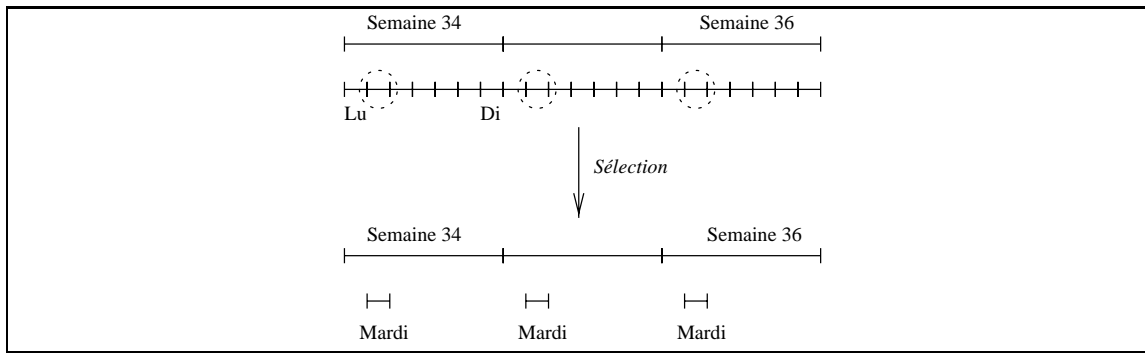


FIG. 1.10 – *Opération de sélection*

L'expression d'ensembles périodiques se fait ainsi par composition de ces opérations. Par exemple pour obtenir les premiers jours de chaque mois de l'année 2000 il faut appliquer une décomposition de l'année en mois puis une sélection sur les premiers jours du mois.

D'autres opérateurs plus classiques (comme l'union l'intersection l'exclusion) permettent également de manipuler des expressions sur les calendriers.

## 1.2 Historiques

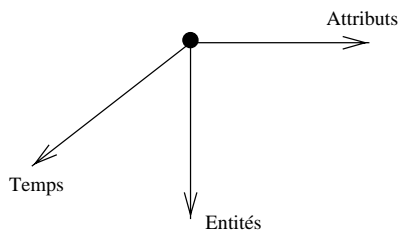
### 1.2.1 Caractéristiques structurelles et temporelles des entités

Pour modéliser l'évolution des entités du monde réel il est utile de les étudier selon deux points de vue : leurs caractéristiques *temporelles* les situent dans le temps ; leurs caractéristiques *structurelles* fixent au travers d'un ensemble d'attributs le rapport entre les propriétés des entités telles qu'elles sont observées à un instant donné et les valeurs représentant ces propriétés dans la base.

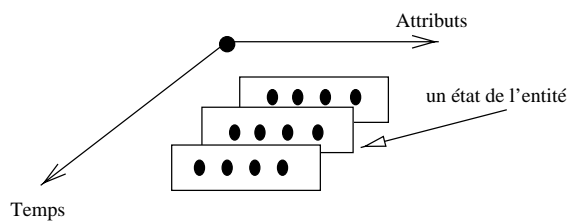
Remarquons qu'une valeur structurelle peut être d'un type temporel. C'est par exemple le cas de la date de mariage d'une personne qui peut être enregistrée à un instant différent et qui peut être corrigée du fait d'une erreur lors de la saisie initiale.

La figure 1.11 schématise les caractéristiques structurelles et temporelles d'un ensemble d'entités de même type (schéma) selon trois axes : les entités considérées caractérisées par leur identité leurs propriétés communes caractérisées par un ensemble d'attributs et les instants considérés sur la droite du temps (Cf. figure 1.11.a). On peut alors considérer trois projections sur un plan selon que l'on s'intéresse à l'*historique* d'une entité dans le temps (Cf. figure 1.11.b) ou à la *vision instantanée (snapshot)* d'un ensemble d'entités à un instant donné (Cf. figure 1.11.c) ou enfin aux *périodes d'observation* d'un ensemble d'entités (Cf. figure 1.11.d).

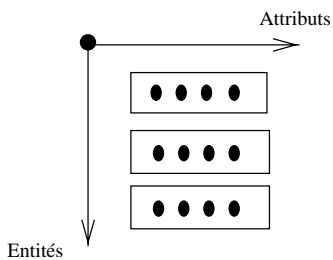
Selon l'application considérée une propriété d'une entité peut être constante ou modifiable. Si elle est modifiable on peut ne retenir que la dernière mise à jour ; ou bien



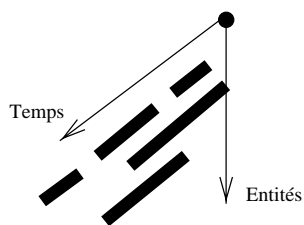
(a) Les différents axes d'observation



(b) Historique : une entité évolue dans le temps



(c) Instantané : un ensemble d'entités à un instant donné



(d) Périodes d'observation d'un ensemble d'entités

FIG. 1.11 – *Caractéristiques structurelle et temporelle des entités*



certaines états pertinents de son évolution : l'attribut de l'objet correspondant est alors *historique*.

Lorsque le modèle  $\Gamma$  comme par exemple TempSQL [GN93] impose que tous les attributs d'un objet ou d'un n-uplet d'une relation aient la même période de vie  $\Gamma$  on parle d'*homogénéité temporelle* (*temporal homogeneity*). Cette propriété garantit l'absence de valeurs "nulles" dans les instantanés.

D'une entité à l'autre  $\Gamma$  d'un attribut à l'autre  $\Gamma$  les changements peuvent survenir à des instants observés à des niveaux de granularité différents. Dans notre exemple Oplate  $\Gamma$  le débit de la source est observé toutes les douze heures alors que la production des bouteilles d'eau est observée journalièrement. Certains attributs peuvent évoluer de manière synchrone : leurs modifications surviennent aux mêmes instants  $\Gamma$  par exemple si l'on impose que le prix d'une bouteille soit changé lorsque son volume change.

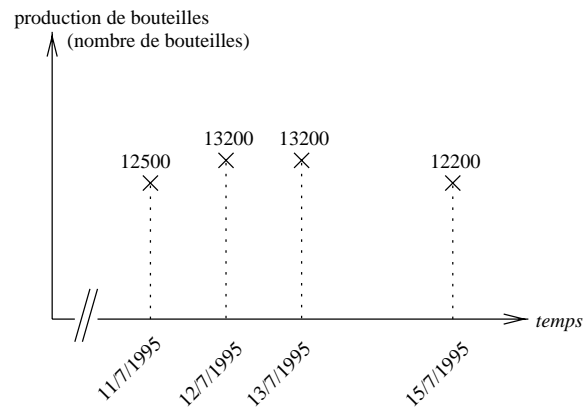
Un historique peut être vu comme une fonction d'un domaine temporel dans un domaine d'états  $\Gamma$  ou comme une suite de couples  $\langle$ valeur temporelle  $\Gamma$  état  $\rangle$  ordonnée chronologiquement. [SS93] parle de *time sequence* (*TS*). La signification des valeurs temporelles doit être précisée par le niveau de granularité d'observation du temps.

Un historique peut être représenté de diverses manières selon les contraintes éventuelles imposées par le modèle de données utilisé ou selon les propriétés particulières de l'historique considéré. On peut notamment distinguer les situations où il faut associer un état à toute valeur temporelle dans l'intervalle de validité (au niveau de granularité choisi)  $\Gamma$  et les situations où l'on n'est intéressé que par certains points dans cet intervalle.

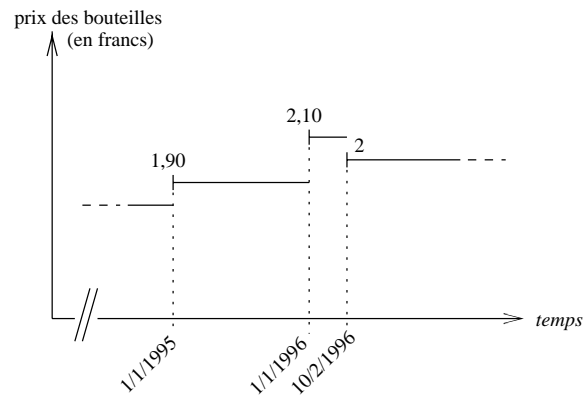
Dans notre exemple  $\Gamma$  on peut considérer l'historique de la production de bouteilles  $\Gamma$  l'historique des prix des bouteilles  $\Gamma$  et l'historique du débit de la source. Dans le premier cas  $\Gamma$  il n'y a pas de valeurs entre deux journées de production (week-end  $\Gamma$  jour férié  $\Gamma$  grève) la fonction historique n'est donc pas définie en dehors des points d'observation (historique discret  $\Gamma$  *discrete TS* [SS93]  $\Gamma$  Cf. figure 1.12a). Dans le deuxième cas l'historique est une fonction en escalier (*step wise constant TS* Cf. figure 1.12b) : la valeur est constante entre deux points d'observation  $\Gamma$  ce qui est une forme simple d'interpolation. Enfin dans le troisième cas  $\Gamma$  un modèle physique d'une source peut fournir la fonction d'interpolation adéquate entre deux mesures effectives (*continuous TS* Cf. figure 1.12c).

## 1.2.2 Dimensions temporelles

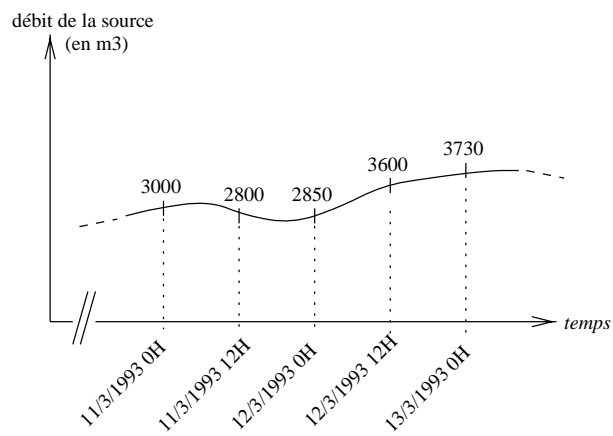
L'évolution d'une base de données peut être observée selon diverses interprétations des valeurs temporelles. A cet égard  $\Gamma$  la distinction la plus notable concerne la différence entre le temps situant faits et événements dans le monde réel et celui situant les transactions opérant sur une base de données.



(a) Historique discret



(b) Historique en escalier



(c) Historique interpolé

FIG. 1.12 – *Différents types d'historiques*

Dans le glossaire du domaine [JCE<sup>+</sup>94] il est défini le temps de validité et le temps de transaction :

- Le temps de validité (*valid time*  $\Gamma$  *logical time* dans [DLW84]  $\Gamma$  *effective time* dans [Gad93]) (Cf. figure 1.13a) d'une donnée est le temps où la donnée est vraie (valide) dans le monde réel  $\Gamma$  par exemple "le camion a subi une vidange le 8/4/1997". Le temps de validité est fourni par l'application.

Cette dimension permet de refléter le passé ou d'anticiper sur le futur dans la réalité du monde de l'application en se référant aux faits et événements à tout instant considéré comme significatif.

- Le temps de transaction (*transaction time*  $\Gamma$  *physical time* dans [DLW84]  $\Gamma$  *registration time* dans [Gad93]) (Cf. figure 1.13b) correspond au temps où une donnée est enregistrée dans la base de données.

Le temps de transaction est fourni par le SGBD. Il peut s'agir du moment où la transaction associée est validée.

En particulier  $\Gamma$  un fait est rarement enregistré au moment même où il advient. La notion de délai structurel (*delay structure* dans [Ari87]) est une caractéristique des systèmes d'informations organisés où les informations ne sont enregistrées dans la base de données qu'un certain temps après avoir été effectivement connues.

Cette dimension traduit l'historique des modifications de la base de données. Elle permet d'observer l'état de la base à tout instant depuis sa mise en oeuvre que ce soit pour analyser les transactions d'une application ou pour assurer l'intégrité de la base ou pour assurer la fonction de reprise.

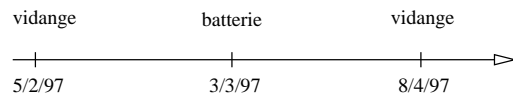
Une information de la base de données peut comporter ces deux types de valeurs  $\Gamma$  qui éventuellement évoluent différemment dans le temps. On parle alors de valeur ou d'historique bitemporel (Cf. figure 1.13c).

Ces deux dimensions temporelles ne sont pas similaires. Dans le cas du temps de validité  $\Gamma$  les valeurs structurelles et temporelles peuvent être entâchées d'erreur. Elles peuvent être corrigées. Dans le cas du temps de transaction  $\Gamma$  la valeur temporelle est fournie par le système  $\Gamma$  l'utilisateur fournit toujours la valeur structurelle. Bien que celle dernière puisse être erronée  $\Gamma$  sa modification est impossible  $\Gamma$  l'utilisateur doit saisir la correction avec un nouveau temps de validité  $\Gamma$  la valeur erronée est conservée.

Les historiques observés selon le temps de transaction ont des caractéristiques bien particulières [Sno95a] : les valeurs appartiennent toujours au passé et il s'agit d'historiques en escalier.

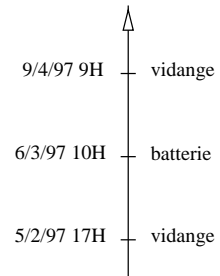
Le temps de transaction permet de mémoriser la connaissance que le SGBD avait du monde réel à un moment donné. Il permet également de retrouver les corrections qui ont

Entretien des camions :



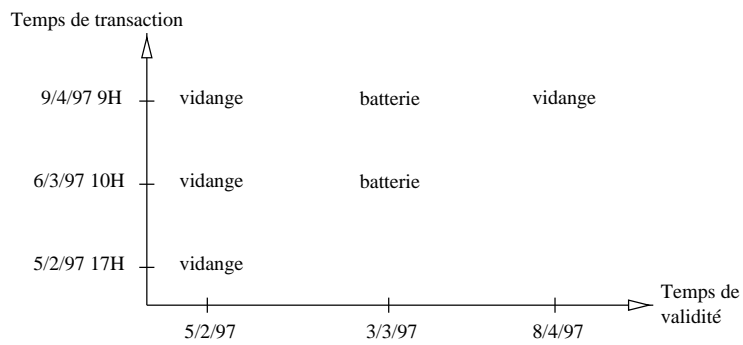
(a) Historique suivant le temps de validité

Entretien des camions :



(b) Historique suivant le temps de transaction

Entretien des camions :



(c) Historique bitemporel

FIG. 1.13 – *Les différentes dimensions temporelles*

été faites dans la base de données. Par exemple dans la figure 1.14 on a enregistré le 1/5/97 à 9H que la réparation qui avait été faite le 3/3/97 n'est pas un changement de batterie mais une vidange.

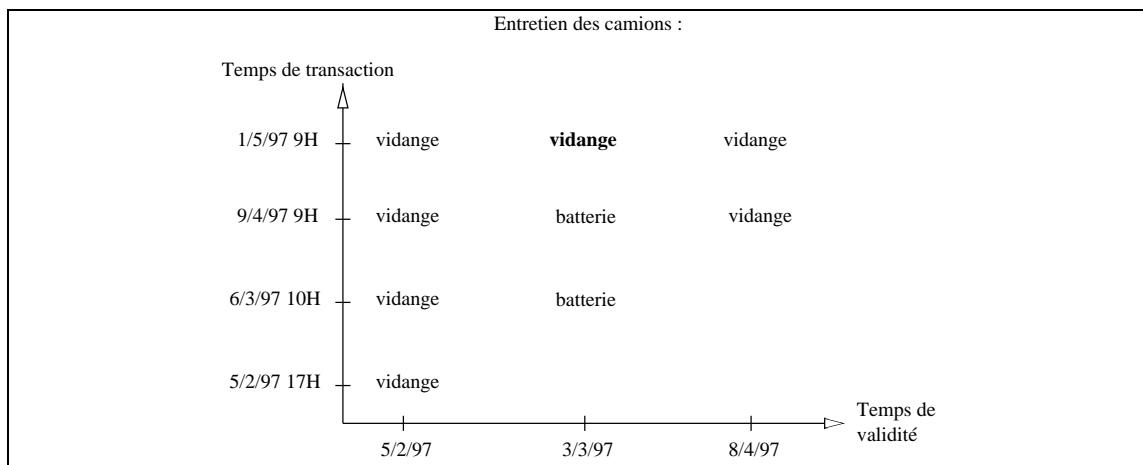


FIG. 1.14 – Correction dans un historique bitemporel

[SA85] propose une nomenclature des bases de données temporelles suivant les dimensions temporelles prises en compte :

- *Bases de données de reprise (rollback databases)* : bases de données ne supportant que le concept de temps de transaction et qui permettent de suivre l'évolution des données au cours des différentes transactions.
- *Bases de données historiques (historical databases)* : bases de données ne gardant trace que de l'évolution selon le temps de validité.
- *Bases de données bitemporelles (bitemporal databases)* : bases de données qui supportent le temps de validité et le temps de transaction.

Le temps de validité et le temps de transaction ne sont pas les seules dimensions temporelles possibles il est possible d'en définir d'autres. Dans les propositions de modèles d'historiques il est aussi couramment admis un temps de l'utilisateur (*user-defined time* dans [JCE<sup>+</sup>94]) dont la sémantique est fixée par le domaine de l'application.

### 1.2.3 Modèles à valeurs

Dans un contexte relationnel les historiques peuvent être définis soit au niveau des n-uplets soit à celui des attributs. Le temps (de validité ou de transaction) peut être représenté par des instants des intervalles ou des éléments temporels. L'utilisation d'éléments temporels permet de ne pas dupliquer de n-uplet lorsque une entité a la même

valeur pendant deux périodes de temps disjointes. Les historiques sont généralement interprétés comme étant en escalier. Lorsque le temps est exprimé à l'aide d'instant  $\Gamma$  cela exclut toute absence de valeur dans l'histoire des entités puisque la valeur est estampillée à l'instant  $i_1$  est  $\Gamma$  par définition  $\Gamma$  valide jusqu'à la valeur suivante  $\Gamma$  est estampillée par  $i_2$ . TSQL 2 propose aussi un type de relation correspondant à un historique discret  $\Gamma$  le temps est alors représenté par un instant.

Lorsque le modèle associe les historiques aux n-uplets  $\Gamma$  option choisie par exemple dans [Gad93  $\Gamma$  NA87  $\Gamma$  NA93  $\Gamma$  Sar93  $\Gamma$  Sno94b]  $\Gamma$  des attributs particuliers (explicites ou implicites) permettent de gérer les temps de validité et/ou de transaction.

Dans cette approche  $\Gamma$  les relations sont maintenues en première forme normale et les acquis de cette propriété sont ainsi conservés aux niveaux conceptuel et logique. En contrepartie  $\Gamma$  elle présente les défauts connus du modèle relationnel concernant notamment la finesse de structuration. Et l'introduction des attributs temporels augmente la redondance d'informations. Chaque fois que l'une des valeurs d'attribut est modifiée  $\Gamma$  un nouvel n-uplet doit être ajouté.

L'association des historiques aux attributs  $\Gamma$  option choisie par exemple dans [Tan93  $\Gamma$  GN93  $\Gamma$  CC93  $\Gamma$  GV85]  $\Gamma$  permet une modélisation plus fine de l'évolution des informations. Mais les relations ne sont plus en première forme normale  $\Gamma$  ce qui a des conséquences aux niveaux logique et physique.

Nous illustrons ces deux méthodes (Cf. figure 1.15) en donnant la valeur de la relation des clients de notre entreprise-exemple Oplate (pour simplifier  $\Gamma$  nous ne retenons que l'historique de leur adresse  $\Gamma$  de leur numéro de téléphone et de leur directeur). Dans cette figure  $\Gamma$  les intervalles dont la borne supérieure est notée “—” correspondent aux valeurs définies par la dernière mise à jour.

Dans la figure 1.15b les périodes de validité apparaissent sous forme d'intervalles (attribut **Validité**). Dans la modélisation non temporelle  $\Gamma$  la clef de la relation est définie sur l'attribut **Nom**. Dans la modélisation temporelle  $\Gamma$  il faut y ajouter l'attribut **Validité**.

L'examen de la figure 1.15 met en évidence la redondance d'information induite par l'association des historiques aux n-uplets et les différences de traitement en cas de modification. Supposons  $\Gamma$  par exemple  $\Gamma$  que M. Martin deviennent le nouveau directeur de l'Alimentation du maquis le 15 avril 1996.

Dans le premier cas (Cf. figure 1.15a)  $\Gamma$  il faut :

- Modifier la période de validité du n-uplet le plus récent concernant ce client :  
([1/4/93, —] devient [1/4/93, 14/4/96])
- Ajouter le n-uplet :  
<Alimentation du maquis, Propriano, 04 95 44 57 22, Martin, [15/4/96, —]>.

| Nom                    | Adresse   | Téléphone      | Directeur | Validité          |
|------------------------|-----------|----------------|-----------|-------------------|
| Supermarché du désert  | Tataouine | 162 243        | Hiddid    | [1/1/90Γ30/11/94] |
| Supermarché du désert  | Tunis     | 325 478        | Hiddid    | [1/12/94Γ-]       |
| Alimentation du maquis | Propriano | 04 95 34 12 56 | Dupond    | [1/3/90Γ20/5/92]  |
| Alimentation du maquis | Ajaccio   | 04 95 56 39 74 | Dupond    | [21/5/92Γ15/8/92] |
| Alimentation du maquis | Ajaccio   | 04 95 56 39 74 | Maurizi   | [1/9/92Γ31/3/93]  |
| Alimentation du maquis | Propriano | 04 95 44 57 22 | Maurizi   | [1/4/93Γ-]        |

(a) Historiques au niveau des n-uplets

| Nom                                     | Adresse  | Téléphone   | Directeur   |
|---|--|---|---|
| Supermarché<br>du désert<br>[1/1/90Γ-]  | Tataouine<br>[1/1/90Γ30/11/94]<br>Tunis<br>[1/12/94Γ-]                                   | 162 243<br>[1/1/90Γ30/11/94]<br>325 478<br>[1/12/94Γ-]  | Hiddid<br>[1/1/90Γ-]                                |
| Alimentation<br>du maquis<br>[1/1/90Γ-] | Propriano<br>[1/3/90Γ20/5/92]<br>Ajaccio<br>[21/5/92Γ31/3/93]<br>Propriano<br>[1/4/93Γ-] | 04 95 34 12 56<br>[1/3/90Γ20/5/92]<br>04 95 56 39 74<br>[21/5/92Γ31/3/93]<br>04 95 44 57 22<br>[1/4/93Γ-] | Dupond<br>[1/3/90Γ15/8/92]<br>Maurizi<br>[1/9/92Γ-] |

(b) Historiques au niveau des attributs

FIG. 1.15 – Niveau d'observation des historiques dans le modèle relationnel

| R1 | Nom                    | Adresse   | Téléphone      | Validité          |
|----|------------------------|-----------|----------------|-------------------|
|    | Supermarché du désert  | Tataouine | 162 243        | [1/1/90Γ30/11/94] |
|    | Supermarché du désert  | Tunis     | 325 478        | [1/12/94Γ-]       |
|    | Alimentation du maquis | Propriano | 04 95 34 12 56 | [1/3/90Γ20/5/92]  |
|    | Alimentation du maquis | Ajaccio   | 04 95 56 39 74 | [21/5/92Γ31/3/93] |
|    | Alimentation du maquis | Propriano | 04 95 44 57 22 | [1/4/93Γ-]        |

| R2 | Nom                    | Directeur | Validité         |
|----|------------------------|-----------|------------------|
|    | Supermarché du désert  | Hiddid    | [1/1/90Γ-]       |
|    | Alimentation du maquis | Dupond    | [1/3/90Γ15/8/92] |
|    | Alimentation du maquis | Maurizi   | [1/9/92Γ-]       |

FIG. 1.16 – Historiques au niveau des n-uplets : décomposition en deux relations

Dans le deuxième cas (Cf. figure 1.15b) il ne faut intervenir que sur l'attribut **Directeur** associé à l'Alimentation du maquis en :

- Remplaçant  $\langle \text{Maurizi}, [1/9/92, -] \rangle$  par  $\langle \text{Maurizi}, [1/9/92, 14/4/96] \rangle$
- Et en ajoutant  $\langle \text{Martin}, [15/4/96, -] \rangle$ .

La figure 1.15a permet d'illustrer la notion d'évolution synchrone des attributs d'une relation. Par exemple les attributs **adresse** et **téléphone** évoluent de manière synchrone mais l'attribut **directeur** est asynchrone par rapport à eux. De ce fait le changement du directeur implique la duplication de l'adresse et du numéro de téléphone dans un nouveau n-uplet. De plus l'information de la période de validité d'un attribut est répartie sur plusieurs n-uplets par exemple la validité de l'adresse d'Ajaccio pour l'Alimentation du maquis. Cela peut compliquer l'expression et l'implantation de certaines requêtes.

Pour éviter ces problèmes on cherche alors à décomposer la relation considérée en sous-relations dont tous les attributs évoluent de manière synchrone. On définit à cet effet une relation d'équivalence sur un ensemble d'attributs : tous les attributs d'une classe évoluent de manière synchrone. Les classes définies par cette relation sont alors à la base de la décomposition (*classe d'équivalence synchrone* [NA93]).

Dans cet exemple on peut répartir les attributs variables en deux classes d'équivalence synchrones d'un part  $\{\text{Adresse}, \text{Téléphone}\}$  et d'autre part  $\{\text{Directeur}\}$ . Ceci conduit à décomposer la relation initiale en deux sous-relations R1 (**Nom, Adresse, Téléphone, Validité**) et R2 (**Nom, Directeur, Validité**) (Cf. figure 1.16).

La redondance d'informations demeure lorsque le domaine de l'attribut validité est celui des instants ou des intervalles. Celle-ci peut être évitée par l'utilisation d'éléments temporels : dans la figure 1.15b les couples  $\langle \text{Propriano}, [1/1/90, 30/11/94] \rangle$  et  $\langle \text{Propriano}, [1/4/93, -] \rangle$  sont regroupés en un seul  $\langle \text{Propriano}, [1/1/90, 30/11/94] \cup [1/4/93, -] \rangle$ .

## 1.2.4 Modèles à objets

Comme dans le cas du relationnel les modèles à objets permettent d'associer les historiques aux objets [KS92ΓSC91ΓSN97] ou aux attributs [PEA<sup>+</sup>95ΓRS93]. OODAPLEX [WD93] permet indifféremment l'une ou l'autre possibilité.

Selon le modèle les attributs historiques sont décrits par des fonctions à domaine temporel (par exemple dans OODAPLEX [WD92ΓWD93]) ou par des séquences temporelles (par exemple [ADF<sup>+</sup>94]). La figure 1.17 illustre ces deux possibilités dans le cas de l'association des historiques aux attributs.

La figure 1.18 illustre l'association des historiques aux objets ou aux attributs. Lorsque les historiques sont associés aux objets les techniques de modélisation couramment employées dans le domaine plus général des versions peuvent être utilisées [Fau89ΓSci91ΓFau92ΓWD93ΓSci94]. Deux classes d'objets sont alors définies : la première associée à un



objet son historique c'est-à-dire la séquence de ses versions ordonnées dans le temps ; la deuxième classe décrit une vision instantanée de l'objet c'est-à-dire un état de l'objet à un instant donné.

L'évolution synchrone d'attributs peut être exprimée par l'introduction d'un niveau d'abstraction supplémentaire correspondant aux classes d'équivalence synchrones mises en évidence lors de l'analyse.

## 1.3 Langages

Les extensions attendues des systèmes concernent la possibilité d'identifier les entités et associations dont on veut pouvoir observer l'évolution et de spécifier les instants où leur changement est pertinent et de disposer d'opérateurs temporels permettant d'exprimer le plus naturellement possible des requêtes d'interrogation de création et de mise à jour en reliant faits et événements dans le temps.

Dans les modèles à objets on exploite directement la puissance d'expression des langages de programmation (au travers des méthodes) et la possibilité de définition de bibliothèques de classes.

Dans les modèles à valeurs la démarche générale consiste à étendre la définition des expressions en incluant les types temporels en étendant les opérations usuelles de projection sélection et produit et les opérations d'agrégation. Il est aussi nécessaire de rajouter des opérateurs particuliers liés à l'ordre chronologique entre les n-uplets.

### 1.3.1 Extension de l'algèbre relationnelle

Il existe de nombreuses extensions temporelles de l'algèbre relationnelle [LJ88Kaf93 DBS96]. Nous résumons ici les principaux opérateurs en présentant la(les) adaptation(s) temporelle(s) généralement proposée(s). Pour cela nous nous basons sur les algèbres de HRDM [CC93] qui associe les historiques aux attributs et de TSQL 2 [Sno95b] qui associe les historiques aux n-uplets.

#### – *Projection temporelle.*

Dans le cas de l'association des historiques aux attributs il s'agit d'une extension directe de la projection habituelle. Dans l'autre cas la projection selon un attribut donné réalise une fusion (*coalesce*) du temps de validité (ou de transaction) associé à chaque valeur ; ce temps pouvant être réparti sur plusieurs n-uplets pour une même valeur.

La requête "Pendant quelle période Mr Dupond a-t-il été directeur de l'alimentation du maquis" est un exemple de projection temporelle. Si le temps est associé aux attributs la réponse est le temps de validité associé à la valeur "Dupond" de l'attribut `Directeur`.

TYPE Client :

Nom : Client → texte

Adresse : Client → (date → texte)

Téléphone : Client → (date → texte)

Directeur : Client → (date → texte)

(a) A l'aide de fonctions à domaines temporels

TYPE Client :

Nom : Client → texte

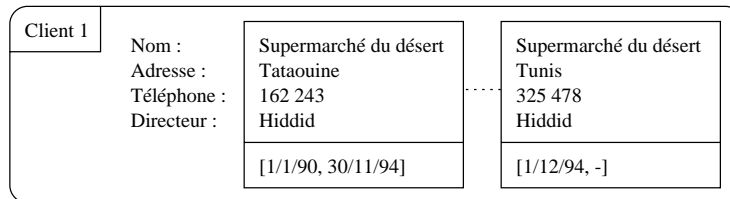
Adresse : [ < texte, élément temporel > ]

Téléphone : [ < texte, élément temporel > ]

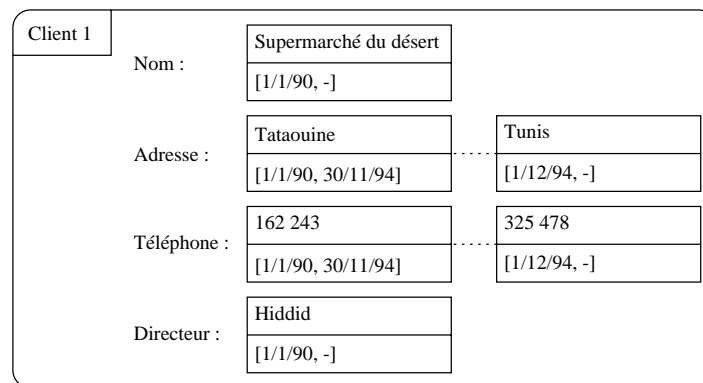
Directeur : [ < texte, élément temporel > ]

(b) A l'aide de séquences temporelles

FIG. 1.17 – Différentes descriptions des historiques dans les modèles à objets



(a) Historiques au niveau des objets



(b) Historiques au niveau des attributs

FIG. 1.18 – Niveau d'observation des historiques dans les modèles à objets

La réponse est  $[1/3/90 \Gamma 15/8/92]$  (Cf. figure 1.15a). Si le temps est associé aux n-uplets la réponse est l'union des temps de validité associés aux n-uplets dont la valeur de l'attribut `Directeur` est "Dupond". Ici la réponse est l'union des intervalles  $[1/3/90 \Gamma 20/5/92]$  et  $[21/5/92 \Gamma 15/8/92]$  soit l'intervalle  $[1/3/90 \Gamma 15/8/92]$  (Cf. figure 1.15b).

– *Sélection temporelle.*

Elle permet de retenir toute l'histoire de n-uplets vérifiant une certaine propriété à certains moments dans le temps. Cela correspond à la question : "Type et historique de prix des bouteilles dont le prix a dépassé les 5 francs avant le 31/12/1996".

– *Restriction temporelle.*

Elle permet de ne retenir dans une relation que la restriction des n-uplets à une période donnée par exemple "Quelle est l'histoire du client "Supermarché du désert" pendant la période  $[1/1/90 \Gamma 31/12/99]$ ?"

– *Sélection et Restriction.*

Il s'agit ici de combiner une sélection temporelle avec une restriction temporelle. Cela permet de restreindre l'histoire des n-uplets sélectionnés aux instants où ils vérifient la propriété spécifiée. Par exemple la réponse à la requête "Quelle est l'historique des bouteilles "PlusSoif" lorsque celles-ci coûtent moins de 3 francs?" sera une relation déduite de la relation `Bouteille` en restreignant tous les attributs aux instants correspondant à la propriété demandée.

– *Produit cartésien temporel.*

Le produit cartésien est étendu selon deux options : considérer que la période de validité des n-uplets du résultat est l'union ou l'intersection des périodes de validité des n-uplets arguments comme l'illustre la figure 1.19. Selon l'option choisie les relations obtenues sont temporellement homogènes ou non.

– *Théta produit et produit naturel.*

Dans les deux cas c'est une combinaison du produit cartésien d'une sélection et d'une restriction temporelle. On ne retient que les n-uplets vérifiant au moins une fois la propriété donnée (implicite pour le produit naturel) et on les restreint aux périodes de validité où cette propriété est vérifiée.

– *Opérateurs ensemblistes.*

Ils sont redéfinis de manière à traiter correctement les cas de chevauchement des périodes de validité d'attributs intervenant dans l'opération : par exemple dans le cas d'une union plutôt que de produire deux n-uplets ne se distinguant que par la période de validité on réalise une "fusion" qui produit un seul n-uplet dont la période de validité résulte de l'union des périodes de validité.

| <b>R1</b> | <b>A1</b> | <b>Validité</b> | <b>R2</b> | <b>A2</b> | <b>Validité</b> |
|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|
|           | AA        | i <sub>1</sub>  |           | ZA        | i <sub>3</sub>  |
|           | AB        | i <sub>3</sub>  |           | ZB        | i <sub>4</sub>  |
|           | AC        | i <sub>4</sub>  |           | ZC        | i <sub>5</sub>  |
|           | AD        | i <sub>7</sub>  |           | ZD        | i <sub>6</sub>  |

(a) Exemple de deux relations R1 et R2

| <b>R1</b> × <sub>t,∩</sub> <b>R2</b> | <b>A1</b> | <b>A2</b> | <b>Validité</b> |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|
|                                      | AB        | ZA        | i <sub>3</sub>  |
|                                      | AC        | ZB        | i <sub>4</sub>  |

(b) Produit cartésien temporel avec la sémantique de l'intersection, noté ×<sub>t,∩</sub>

| <b>R1</b> × <sub>t,∪</sub> <b>R2</b> | <b>A1</b> | <b>A2</b> | <b>Validité</b> |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|
|                                      | AA        |           | i <sub>1</sub>  |
|                                      | AB        | ZA        | i <sub>3</sub>  |
|                                      | AC        | ZB        | i <sub>4</sub>  |
|                                      |           | ZC        | i <sub>5</sub>  |
|                                      |           | ZD        | i <sub>6</sub>  |
|                                      | AD        |           | i <sub>7</sub>  |

(c) Produit cartésien temporel avec la sémantique de l'union, noté ×<sub>t,∪</sub>

FIG. 1.19 – Extension du produit naturel au contexte temporel

### 1.3.2 Typologie de requêtes temporelles

Les critères de classification que nous avons retenus pour choisir les requêtes (Cf. annexe A.1.6) portent sur la nature des trois composants de base d'une requête temporelle (dans [EPP94] la typologie proposée est fondée uniquement sur l'analyse de la nature de la sélection et de la projection).

- La sélection exprime les conditions que doivent vérifier les objets pour contribuer au résultat. Nous disons qu'une sélection est :
  - Temporelle lorsque l'expression de sélection fait référence au temps : *...être client pendant la période [1/1994, 7/1994]*.
  - Non temporelle dans le cas contraire : *...être situé à Tataouine*.

- La projection spécifie le schéma du résultat attendu. Nous disons qu'une projection est :
  - Temporelle : lorsque le résultat contient des informations temporelles :
    - Sous forme d'un historique : *Historique de la production des bouteilles.*
    - Ou sous forme de valeurs temporelles : *Durées des périodes entre deux révisions d'un camion.*
  - Non temporelle lorsque le résultat ne contient pas d'informations temporelles : *Nom des clients.*
- La définition du domaine temporel du résultat lorsque celui-ci est un historique. Cet aspect de la requête peut être exprimé :
  - Explicitement Il s'agit alors d'une *restriction temporelle* c'est-à-dire d'une restriction du domaine temporel de l'historique : *Pour chaque client, donner l'historique de ses directeurs, restreint à la période [1990, 1995].*
  - Implicitement Le domaine temporel de l'historique étant déduit des instants pendant lesquels une condition de sélection est vérifiée : *Pour chaque type de bouteille, donner l'historique de sa production, pendant qu'il est vendu plus de 5 francs.*

Nous parlons de domaine temporel *déduit d'une synchronisation* lorsqu'il est défini par la mise en correspondance de deux historiques : les instants sélectionnés sont ceux des instantanés vérifiant simultanément une même condition.

  - Par une combinaison des deux : *Pour chaque type de bouteille, donner l'historique de sa production, restreint à la période [1990, 1992], pendant qu'il est vendu plus de 5 francs.*

### 1.3.3 Expression de requêtes dans différents langages

Afin de comparer l'expression de requêtes temporelles dans différents langages nous présentons ici quelques-unes des requêtes relatives à notre exemple Oplate.

Nous avons retenu des langages de requêtes non-temporels (SQL pour le relationnel et OQL pour l'objet) et temporels (TempSQLITSQL 2 pour le relationnel et TOOSQL pour l'objet).

L'annexe A comporte la description de l'application la modélisation des entités dans les différents modèles retenus ainsi que l'expression de l'ensemble des requêtes dans chaque langage.

Nous en avons extrait trois afin d'illustrer les trois composantes de base des requêtes temporelles (sélection, projection et définition du domaine temporel).

– **R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

– **SQL :**

```
PrixPeriode =
{ Cette requête permet de construire l'historique des prix des bouteilles dans
  [1/1/1990, 31/12/1996]. }
SELECT *
{ Ensemble des prix des types de bouteilles modifiés dans la période. }
FROM BouteillePrix
WHERE Validite > '1/1/1990' AND Validite ≤ '1/12/1996'
UNION
SELECT '1/1/1990', Type, Prix
{ Pour chaque type de bouteille, détermination du prix valide au 1/1/1990 (lors-
  qu'il est défini à cette date là). }
FROM BouteillePrix P1
WHERE Validite = (SELECT MAX(Validite)
                  FROM BouteillePrix P2
                  WHERE Validite ≤ '1/1/1990'
                  AND P2.Type = P1.Type)
UNION
SELECT '1/1/1990', Type, NULL
{ Pour chaque type de bouteille dont le prix n'est pas défini au 1/1/1990,
  construction d'un n-uplet avec la valeur absente. }
FROM BouteillePrix P1
WHERE Type NOT IN (SELECT Type
                  FROM BouteillePrix
                  WHERE Validite < '1/1/1990')

Requête finale :
SELECT *
FROM PrixPeriode
WHERE Type NOT IN (SELECT Type
                  FROM PrixPeriode
                  WHERE Prix IS NULL)
```

La requête finale retient le type et l'historique des prix pour les bouteilles dont le prix n'a jamais été absent (donc jamais à NULL) pendant la période donnée.

– **TSQL 2 :**

```
SELECT B.Type, B.Prix VALID INTERSECT (PERIOD '[1/1/1990, 1/12/1996]')
{ La clause VALID INTERSECT effectue la restriction temporelle à la période
donnée de la relation résultat de la requête. }
FROM BouteillePrix B
WHERE VALID(B) CONTAINS PERIOD '[1/1/1990, 1/12/1996]'
{ La clause WHERE introduit ici une sélection temporelle. }
```

– **TempSQL :**

```
SELECT Type, Prix
WHILE [1/1/1990, 1/12/1996]
{ La clause WHILE introduit la restriction temporelle, à la période donnée, de
la relation résultat. }
FROM Bouteille
WHERE [[Prix]] ⊆ [1/1/1990, 1/12/1996]
{ L'expression [[Prix]] constitue le domaine temporel de l'attribut Prix du n-uplet
traité. }
{ La condition permet de ne retenir que les n-uplets dont le prix est défini
pendant tout l'intervalle. }
```

– **OQL :**

```
DEFINE PrixPériode AS
{ Cette requête permet de construire l'historique des prix des bouteilles dans
[1/1/1990, 31/12/1996].
Le type du résultat est { < string, [<date, real>] > }. }
SELECT TUPLE(Type: B.Type,
              HistPrix: SELECT P1 FROM P1 IN B.Prix
                        { Ensemble des prix de bouteille modifiés dans la pé-
                          riode. }
                        WHERE P1.Validite ≥ '1/1/1990'
                        AND P1.Validite ≤ '1/12/1996'
                        UNION
                        SELECT TUPLE(Validite: '1/1/1990',
                                     Prix: P2.Prix)
                        { Pour chaque type de bouteille, détermination du
                          prix valide au 1/1/1990 (lorsqu'il est défini à cette
                          date là). }
                        FROM P2 in B.Prix
                        WHERE P2.Validite = MAX(SELECT P3.Validite
                                                FROM P3 in B.Prix
                                                WHERE P3.Validite < '1/1/1990'))
FROM B IN LesBouteilles
```

Requête finale :

```
{ type du resultat: { < string, [< date, real>] > } }  
SELECT H  
FROM H IN PrixPériode  
WHERE MIN(SELECT P.Validite FROM P IN H.HistPrix) = '1/1/1990'  
AND FOR ALL H IN PrixPériode: H.Valeur ≠ nil
```

La requête finale permet de ne retenir que les types de bouteilles dont le prix est défini dès le premier instant de la période et pendant toute la période.

– **TOOSQL :**

```
SELECT B.Type, B.Prix.History  
FROM B:Bouteille  
TIME-SLICE [1/1/1990..1/12/1996]  
  { La clause TIME-SLICE restreint le résultat aux n-uplets valides pendant  
    la période donnée }  
WHERE B.Prix.Duration(vt).Sum = Duration([1/1/1990..1/12/1996])  
  { La méthode Duration(vt) appliquée à un attribut historique construit les  
    durées de chaque intervalle de la séquence temporelle associée. }  
  { La méthode Sum effectue la somme de ces durées }
```

Nous prenons ici pour hypothèse que la restriction temporelle introduite par la clause TIME-SLICE est effectuée avant l'évaluation de la condition de la clause WHERE.

– **R.7** Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?

– **SQL :**

```
PrixProduction =  
{ Cette requête intermédiaire réunit les historiques de production et de prix (sans  
  restreindre à un domaine temporel particulier). }  
SELECT O.Validité, O.Type, O.Production, I.Prix  
FROM BouteilleProd O, BouteillePrix I  
WHERE O.Type = I.Type  
{ La disjonction ci-dessous permet de déterminer le prix d'une bouteille à chaque  
  instant où une valeur de sa production est donnée. Les n-uplets retenus sont  
  ceux pour lesquels le prix correspond à l'instant de la production, soit  $t_1$ , que le  
  prix ait été changé à cet instant ou à un instant précédent, soit  $t_2$  (sans autre  
  modification de prix entre  $t_1$  et  $t_2$ ). }
```



```

AND (I.Validité = O.Validité
    OR
    I.Validité < O.Validité
    AND NOT EXISTS (SELECT *
                    FROM BouteillePrix II
                    WHERE II.Type = I.Type
                    AND II.Validité > I.Validité
                    AND II.Validité ≤ O.Validité))

```

Requête finale :

```

SELECT SUM(Production)
FROM PrixProduction
WHERE Type = 'PlusSoif' AND Prix > 5

```

Cette requête restreint la relation au type et au prix considéré et calcule la somme des bouteilles produites.

– **TSQL 2 :**

```

SELECT SUM(O.Production)
FROM BouteillePrix P, BouteilleProduction O
WHERE O.Type = P.Type AND P.Prix > 5

```

TSQL 2 est particulièrement bien adapté à l'expression de requêtes dans lesquelles on combine des instantanés issus d'historiques différents et définis aux mêmes instants.

– **TempSQL :**

```

{ type du résultat: historique de productions }
SELECT Production
WHILE [[Prix > 5 ]]
FROM Bouteille

```

Pour donner la quantité globale produite du type de ces bouteilles il est nécessaire de disposer d'un opérateur de projection d'un historique selon ses valeurs structurales afin d'appliquer dessus des opérations arithmétiques. Un tel opérateur n'est pas défini dans TempSQL.

– **OQL :**

```
SUM(SELECT Prod.Valeur
      FROM B IN LesBouteilles, Prod IN B.Production, Prx in B.Prix
      WHERE B.Type = 'PlusSoif'
      AND Prx.Valeur > 5
      { La disjonction ci-dessous permet de déterminer le prix d'une bouteille
        à chaque instant où une valeur de sa production est donnée. Les n-uplets
        retenus sont ceux pour lesquels le prix correspond à l'instant de la pro-
        duction, soit  $t_1$ , que le prix ait été changé à cet instant où à un instant
        précédent, soit  $t_2$  (sans autre modification de prix entre  $t_1$  et  $t_2$ ). }
      AND (Prx.Validite = Prod.Validite
          OR
          Prx.Validite < Prod.Validite
          AND NOT EXISTS Prx2 IN B.Prix :
              Prx2.Validité > Prx.Validité
              AND Prx2.Validité < Prod.Validité))
```

– **TOOSQL :**

```
SELECT B.Production.Sum
FROM B:Bouteille
WHERE B.Type = 'PlusSoif'
AND B.Prix > 5
```

– **R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client “Alimentation du maquis” juste après qu’il ait quitté Propriano ?*

– **SQL :**

```
SELECT C2.Adresse
FROM ClientCoordonnees C1, ClientCoordonnees C2
WHERE C1.Nom = C2.Nom
AND C1.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND C1.Adresse = 'Propriano'
AND C1.Validite < C2.Validite
AND NOT EXISTS (SELECT *
                 FROM ClientCoordonnees C3
                 WHERE C3.Nom = C1.Nom
                 AND C3.Validite > C1.Validite
                 AND C3.Validite < C2.Validite)
```

Le requête principale fait le lien entre l’adresse à Propriano et les adresses suivantes. La sous-requête permet de sélectionner le n-uplet C2 correspondant à l’adresse où le client a déménagé juste après avoir quitté Propriano.

– **TSQL 2 :**

```
SELECT SNAPSHOT C1.Adresse
FROM ClientCoordonnées C1
WHERE C1.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND EXISTS (SELECT *
            FROM C2 in ClientCoordonnées
            WHERE C2.Nom = C1.Nom AND C2.Adresse = 'Propriano'
            AND VALID(C1) MEETS VALID(C2))
```

La clause SELECT SNAPSHOT exprime la projection de la relation résultat selon les valeurs structurelles. Le résultat est une relation instantanée.

– **TempSQL :**

Cette requête utilisant un raisonnement basé sur la succession dans le temps ne peut pas être exprimée avec les opérateurs définis dans [GN93].

– **OQL :**

```
SELECT CC2.Valeur.Adresse
FROM C IN LesClients, CC1 IN C.Coordonnées, CC2 IN C.Coordonnées
WHERE C.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND CC1.Valeur.Adresse = 'Propriano'
AND CC2.Validite > CC1.Validite
AND NOT EXISTS CC3 IN C.Coordonnées :
    (CC3.Validité > CC1.Validité AND CC3.Validité < CC2.Validité)
```

On retrouve dans cette requête en OQL les mêmes mécanismes que dans ceux mis en oeuvre dans son expression en SQL.

– **TOOSQL :**

```
SELECT C.Adresse
FROM C:Client
WHERE C.Nom = 'Alimentation du maquis'
WHEN C.Adresse.vt.Follows (SELECT CC.Adresse.vt
                          FROM CC:Client
                          WHERE CC.Nom = C.Nom AND CC.Adresse = 'Propriano')
  { Cette première condition permet de ne sélectionner que les adresses après que le client ait quitté Propriano. }
AND NOT EXISTS (SELECT *
               FROM CCC:Client
               WHERE CC.Nom = CCC.Nom
               WHEN CCC.Adresse.vt.Follows (C.Adresse.vt)
               AND CC.Adresse.vt.Follows (CCC.Adresse.vt))
```

*{ Cette seconde condition permet de ne retenir que les adresses correspondant à l'adresse où à déménager le client, juste après avoir quitté Propriano. }*

A la vue de ces requêtes il est possible de faire quelques remarques générales. Sur les langages non-temporels :

- Le seul type temporel de base est le type Date. Pour manipuler des intervalles ou des éléments temporels il faut les représenter explicitement ; de même les opérations (relations d'ordre, opérations ensemblistes, etc.) sont programmées dans chaque requête ce qui en accroît la complexité.
- Le choix de la représentation des associations temporelles (à base d'instant, d'intervalles ou d'éléments temporels) est laissé à la charge des applications. Ce choix étant fixé, si certaines requêtes nécessitent d'en changer, les opérations qui assurent le passage d'une représentation à une autre sont encore à la charge des applications.
- Les modèles à objet permettent de mieux représenter les valeurs et associations temporelles complexes et les opérations associées. Les structures de données alors obtenues nécessitent l'usage d'expressions de navigation, ce qui rend les requêtes plus complexes.

Les langages temporels fournissent des opérations sur les valeurs et associations temporelles mais :

- Le choix de la représentation des associations est imposé, par exemple à base d'intervalles dans TOOSQL et à base d'éléments temporels dans TempSQL. Le changement de représentation est impossible (sauf si l'application le prend à sa charge en utilisant des relations (ou classes) non temporelles!).
- Les modèles ne fournissent aucun mécanisme d'interprétation des valeurs structurelles non saisies. Par exemple, dans le cas d'un phénomène physique, il est courant d'interpoler une valeur entre deux mesures.

De manière générale, le choix de représentation des valeurs et expressions temporelles influe sur l'expression des requêtes. Fixer ces représentations facilite l'écriture de certaines requêtes mais rend l'écriture des autres plus complexe.

Les raisonnements classiquement utilisés dans les langages de requêtes sont basés sur des notions ensemblistes, ce qui ne convient pas lorsqu'on veut exploiter la succession dans le temps.

### 1.3.4 Cas du bitemporel

Pour prendre en compte le bitemporel il faut encore étendre les opérations de l'algèbre. Dans le cas de TSQL 2 le temps de validité et temps de transaction sont gérés exactement de la même manière. Aussi il s'agit des mêmes opérateurs : `TRANSACTION(x)` permet de manipuler le temps de transaction d'un n-uplet comme `VALID(x)` permet de le faire pour le temps de validité.

Comme la complexité d'expression des requêtes est encore accrue dans le cas du bitemporel d'autres propositions comme `TOOSQL` offrent des opérations spécifiques au temps de transaction. Nous avons vu que celui-ci est utile pour tracer des erreurs se replacer dans des conditions du passé etc. Pour cela `TOOSQL` introduit deux opérateurs :

- `Rollback` permet de spécifier un état passé de la base de données sur lequel la requête est évaluée.
- `Without Correction` permet de ne pas prendre en compte les corrections faites dans les historiques.

Exemples de requêtes portant sur le temps de validité (en rapport avec l'exemple de `Plate` et en considérant que les relations sont bitemporelles) :

- Pour chaque camion donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) telles qu'elles étaient enregistrées dans la base le 1<sup>er</sup> janvier 1995 lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.
- Indiquer le nombre moyen de corrections effectuées dans la base sur les données relatives aux visites d'entretien des camions.

### 1.3.5 Mises à jour

Les opérations classiques de mise à jour (`Insert`, `Update` et `Delete`) sont adaptées au contexte temporel.

Dans le cas d'historiques suivant le temps de validité l'utilisateur doit fournir outre éventuellement une valeur structurelle une valeur temporelle datant la mise à jour. Dans le cas du temps de transaction cette estampille est automatiquement fournie par le système.

Nous illustrons ces opérations de mise à jour pour le temps de validité dans le cadre du langage TSQL 2 :

- `Insert` : permet l'insertion de nouveaux n-uplets dans la base. Dans le cas où le domaine temporel du temps de validité associé au nouveau n-uplet recoupe le temps de validité d'un n-uplet de même valeur alors deux cas sont possibles :
  - Le système retient un seul couple et fusionne (*coalesce*) les deux temps de validité.

- Le système refuse l'insertion si une telle contrainte a été explicitement définie par l'utilisateur.

Exemple :

```
INSERT INTO CamionEntretiens
VALUES ('735 AOC 38', 'batterie', '800')
VALID TIMESTAMP '3/3/1997'
```

- **Update.** La mise à jour des attributs non-temporels se fait comme en SQL 2 : les valeurs d'un ou plusieurs attributs du n-uplet sont modifiées sans que le temps de validité en soit affecté.

Exemple :

```
UPDATE CamionEntretiens
SET Nature TO 'vidange'
WHERE Immat = '735 AOC 38' AND Nature = 'batterie'
```

Le temps de validité peut aussi être modifié :

```
UPDATE CamionEntretiens
SET Nature TO 'vidange' VALID TIMESTAMP '3/4/1997'
WHERE Immat = '735 AOC 38' AND Nature = 'batterie'
```

- **Delete.** Cela permet de supprimer des n-uplets d'une relation en annulant des périodes de validité. Deux cas sont possibles suivant la nature de la relation :
  - **valid state** (la période de validité associée est un intervalle) : les tuples concernés par la condition donnée verront leur période de validité amputée de la période donnée. Dans le cas où la période résultante est vide l'e n-uplet est effectivement supprimé de la relation.
  - **valid event** (la période de validité associée est un instant) : les tuples concernés par la condition donnée et dont l'estampille correspond à la valeur donnée sont supprimés de la relation.

Exemple :

```
DELETE FROM CamionEntretiens
WHERE Immat = '735 AOC 38' AND Nature = 'vidange'
VALID TIMESTAMP '3/4/1997'
```

## 1.4 Architectures et prototypes

### 1.4.1 Architectures classiques

Il existe de nombreuses propositions d'extensions temporelles pour des SGBD, parfois complétées par la réalisation de prototypes. Parmi tous ces travaux [VGS96] dégage trois principaux types d'architecture :

- L'extensibilité propre aux SGBD à objets rend possible l'implantation de modèles de données temporels au dessus d'un SGBD existant sans avoir à intervenir sur son noyau. Par exemple les modèles TF-ORM et TOM ont été implantés avec le SGBD O<sub>2</sub> au moyen de bibliothèques de classes implantant les types temporels (instants, intervalles, etc.) les séquences temporelles (suites de couples <instant, valeur>) et éventuellement les opérateurs sur des collections d'objets temporels.
- D'autres modèles temporels sont implantés en rajoutant une interface entre les applications et un SGBD hôte (par exemple [Böh94, BBS97]). Cette approche est nécessairement utilisée pour toutes les extensions temporelles de modèles de données relationnels n'offrant pas la possibilité de définir de nouveaux types abstraits.
- Une troisième option, peu explorée à notre connaissance, consiste à intégrer les fonctionnalités temporelles dans le noyau du SGBD. Ainsi la structure de l'extension temporelle est transparente aux applications et les performances du SGBD sont conservées.

[VGS96] analyse ces diverses architectures selon des critères comme la complétude des fonctionnalités temporelles, la compatibilité avec une utilisation non-temporelle, la facilité d'implantation, les performances, etc.

Ainsi les propositions adoptant la première option sont facilement réalisables tandis que leur facilité d'utilisation est discutable. Dans le deuxième cas, la facilité d'utilisation est améliorée mais les performances sont diminuées car l'extension temporelle est une couche logicielle intermédiaire entre les applications et le SGBD. Enfin, l'intégration dans le noyau du SGBD est sans doute la solution la plus performante, mais elle est peu utilisée car elle nécessite en général la complicité du constructeur du SGBD. De plus, une telle solution n'est guère portable.

### 1.4.2 Prototypes : récapitulatif

La figure 1.20 regroupe l'ensemble des propositions présentée dans ce document, que ce soit des produits commerciaux, des prototypes ou des articles de recherches. Ne sont référencées ici que les propositions globales définissant un modèle de données et/ou un langage de requête; les travaux spécifiques sont cités lorsqu'il en est question.

| Nom            | Nature <sup>a</sup> | Type      | Modèle      | Référence(s)                |
|----------------|---------------------|-----------|-------------|-----------------------------|
| SQL 2          | MDFLR non temp.     | Standard  | Relationnel | [Ins92ΓCO93]                |
| Oracle         | SGBD                | Industrie | Relationnel | [Ora92]                     |
| TempSQL        | MDFLR               | Recherche | Relationnel | [GN93]                      |
| TSQL 2         | MTFMDFLR            | Recherche | Relationnel | [TSQFSno95b]                |
| [DBS96]        | MDFLR               | Recherche | Relationnel | [DBS96]                     |
| Temp. modules  | MTFMDFLR            | Recherche | Relationnel | [WJS93ΓWJS95]               |
| TFDL           | MDFLR               | Recherche | Entités     | [SK94]                      |
| MCO            | Conception          | Recherche | Objets      | [Cas93]                     |
| ODMG           | MDFLR non temp.     | Standard  | Objets      | [ADF <sup>+</sup> 94]       |
| O <sub>2</sub> | SGBD                | Industrie | Objets      | [Tec95]                     |
| OSAM*/T        | MDFLR               | Recherche | Objets      | [SC91]                      |
| TMAD           | MDFLR               | Recherche | Objets      | [KS92]                      |
| TIGUKAT        | MDFLR               | Recherche | Objets      | [GO93ΓOPS <sup>+</sup> 95]  |
| TF-ORM         | MDFLR               | Recherche | Objets      | [EPP93ΓPEA <sup>+</sup> 95] |
| OODAPLEX       | MTFMDFLR            | Recherche | Objets      | [WD93]                      |
| TOOSQL         | MDFLR               | Recherche | Objets      | [RS93]                      |
| Time Sequences | MDFLR               | Recherche | Indépendant | [SS93]                      |

<sup>a</sup>MT : Modèle du temps, MD : Modèle de données temporel, LR : Langage de requêtes temporel

FIG. 1.20 – Propositions étudiées

Remarques concernant le choix des propositions :

- SQL 2 : Nous avons choisi SQL 2 plutôt que SQL 3 pour plusieurs raisons. Tout d'abord c'est SQL 2 qui est implanté par la plupart des SGBD relationnels du commerce. De plus le projet SQL/Temporal (aspects temporels dans SQL 3) n'a commencé officiellement qu'en janvier 1996 (communiqué de presse de l'Accredited Standards Committee\* X3) et n'est pas encore finalisé ; celui-ci tend à se rapprocher fortement de TSQL 2.
- ODMG : Nous faisons référence ici à la version 1 de la spécification. L'ODMG a annoncé le 28 juillet 1997 la version 2 mais celle-ci ne fait pas de nouvelle proposition concernant les aspects temporels (Cf. serveur WWW de l'ODMG <http://www.odmg.org/>).

Pour chacune de ces propositions nous avons résumé ses principales caractéristiques suivant les points abordés pendant ce chapitre (Cf. figure 1.21) : types temporels, multi-granularité (et extensibilité des unités), types historiques et mode d'interrogation.



| Proposition    | Types temporels   | Multigranularité        | Types historiques  | Interrogation                      |
|----------------|---|-------------------------|--|------------------------------------|
| TempSQL        | instant $\Gamma$ intervalle $\Gamma$<br>élé. temporel             | non                     | un seul type $\Gamma$<br>validité uniquement                         | langage temporel                   |
| TSQL 2         | instant $\Gamma$ intervalle $\Gamma$ durée<br>pas d'élé. temporel | oui $\Gamma$ extensible | deux types (escalier $\Gamma$ discret)<br>transaction et/ou validité | langage et algèbre<br>relationnels |
| Temp. modules  | X <sup>a</sup>  | oui $\Gamma$ extensible | X  | algèbre temporelle                 |
| OSAM*/T        | instant   | oui                     | un seul type $\Gamma$<br>validité uniquement                         | langage temporel                   |
| TMAD           | date (instant) $\Gamma$<br>intervalle                             | oui $\Gamma$ prédéfini  | un seul type $\Gamma$<br>validité uniquement                         | langage temporel                   |
| TIGUKAT        | instant $\Gamma$ intervalle $\Gamma$ durée<br>pas d'élé. temporel | oui $\Gamma$ extensible |  | algèbre et langage<br>temporels    |
| TF-ORM         | instant $\Gamma$ intervalle $\Gamma$ durée<br>pas d'élé. temporel | oui $\Gamma$ prédéfini  | un seul type $\Gamma$<br>transaction et/ou validité                  | logique temporelle                 |
| OODAPLEX       | instant $\Gamma$<br>ensemble d'instant                            | oui $\Gamma$ extensible | un seul type $\Gamma$<br>n dimensions                                | langage temporel                   |
| TOOSQL         | date (instant)  | oui $\Gamma$ prédéfini  | un seul type $\Gamma$<br>transaction et/ou validité                  | langage temporel                   |
| Time sequences | X   | X                       | trois types (discret $\Gamma$<br>escalier $\Gamma$ interpolé)        | langage temporel                   |

FIG. 1.21 – *Caractéristiques du modèle du temps de diverses propositions*

<sup>a</sup> X signifie que ce point n'est pas abordé dans les articles de notre bibliographie relatifs à la proposition en question

## 1.5 Vers un serveur temporel

L'analyse d'une quinzaine d'implantations de SGBD temporels fournie dans [Böh95] souligne d'une part que la plupart sont fondées sur l'approche relationnelle et d'autre part elles offrent rarement les moyens d'étendre l'ensemble des unités de temps ou des calendriers disponibles.

Notre objectif est d'étudier la faisabilité d'un serveur temporel par la réalisation d'un prototype au dessus du SGBD  $O_2$ .

Nous présentons maintenant le modèle TEMPOS qui consiste à offrir des extensions temporelles pour un SGBD à objets. Il s'agit pour cela d'intégrer de nombreux résultats existants dans le cadre des modèles à objets.

Notre approche se caractérise en particulier par les objectifs suivants :

- Offrir un ensemble de types temporels de base permettant aux concepteurs d'applications d'exprimer les valeurs temporelles selon le calendrier de leur choix et de manipuler les unités de temps qu'ils désirent.
- Offrir un constructeur de types dédiés à la notion d'historiques et en particulier permettre de raisonner sur les historiques en faisant abstraction de leurs diverses représentations tant externes qu'internes.
- Offrir une classification des modalités de saisie (mises à jour) des informations correspondant aux diverses situations d'observation de phénomènes continus ou discrets.



# Chapitre 2

## Tempos :

## Modèle du temps

Sur la base des travaux de [WJS95] nous adoptons un modèle du temps numérique linéaire et discret approchant le temps de manière granulaire par le biais d'un ensemble d'*unités d'observation du temps*. Ce modèle est choisi en particulier pour permettre de dater les instantanés composant les historiques par des valeurs numériques repérant des instants sur l'échelle du temps avec un degré de précision fixé a priori mais variable selon le phénomène observé ou selon l'application. Par exemple l'évolution du chiffre d'affaires de notre entreprise Oplate sera observée sur une base mensuelle (sans chercher à affiner l'observation au niveau du jour) alors que la production de bouteilles le sera sur une base journalière et que le débit de la source le sera toutes les 6 heures.

Ainsi dans ce modèle la notion d'unité d'observation du temps satisfait à plusieurs besoins : définir le niveau de granularité auquel on veut observer l'évolution des informations ; permettre sous certaines conditions de définir la notion de durée ; représenter les valeurs temporelles de diverses manières pour la représentation interne ou pour leur forme externe en particulier en intégrant le découpage usuel des calendriers en périodes comme par exemple les mois et les années.

### 2.1 Unités d'observation du temps

Habituellement la désignation d'un instant (un point précis du temps) se fait à l'aide de repères temporels qui peuvent varier d'un calendrier à un autre. Un calendrier représente un ensemble de repères qui sont traditionnellement utilisés dans une culture donnée dans un certain domaine d'application etc.

Par exemple dans le calendrier grégorien que nous utilisons habituellement nous exprimons une date à l'aide d'années de mois et de jours : le 14 Juillet 1997.

Parallèlement à cela et quel que soit le domaine d'application nous disposons d'unités

qui permettent de donner des mesures (que ce soit des longueurs ou des durées). Par exemple 2 jours définit une durée. Les mois par contre ne peuvent être considérés comme une mesure du temps car ils ne sont pas réguliers et “1 mois” ne désigne pas un espace de temps de longueur fixe.

Cependant dans la vie courante il y a souvent fusion des deux notions (repère calendaire et unité de mesure) et l’on utilise indifféremment tous ces repères aussi bien pour situer un instant que pour donner une durée. Il est tout à fait courant de donner des durées exprimées avec des années : par exemple la durée de validité d’un contrôle technique est de 1 an. Exprimer des durées comme cela implique une certaine imprécision. Par exemple dans le cadre du contrôle que la durée en jours soit de 365 ou 366 est sans importance.

Dans ce contexte nous présentons un modèle du temps inspiré de [WJS95] basé sur un système extensible d’unités temporelles. De cette façon la manipulation des valeurs temporelles (telles que instants durées etc) est indépendante des unités utilisées qui peuvent être définies à loisir selon les besoins des applications.

Par ailleurs ce modèle propose une seule notion d’unité d’observation du temps qui regroupe à la fois les unités de temps (permettant d’exprimer des mesures) et les repères temporels (permettant d’exprimer des dates).

### 2.1.1 Partition du temps

L’espace continu du temps étant vu comme une droite de réels le temps est discrétisé par une partition de cette droite en une suite d’intervalles consécutifs disjoints (Cf. figure 2.1).

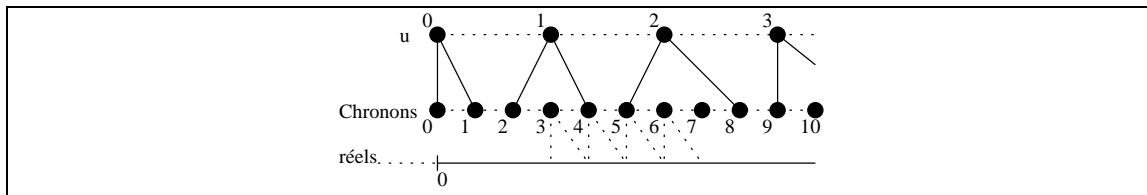


FIG. 2.1 – Une unité d’observation du temps définit une partition

Chaque intervalle est vu comme un *grain* non décomposable et tout instant de la droite de réels est approximé par le grain qui le contient. Les grains sont numérotés par des entiers l’ordre entre les entiers correspondant à la succession dans le temps et la distance entre deux entiers à la notion de durée. Nous choisissons ici de borner le temps par un instant origine et de numéroté les grains par des entiers naturels à partir de 0 (Cf. figure 2.1) de telle sorte que le numéro d’un grain représente la distance le séparant de l’origine.

Une alternative est de numéroté les grains par des entiers relatifs. Les grains de numéros positifs (respectivement négatifs) correspondent alors au futur (respectivement

au passé) par rapport à l'instant d'origine de numéro 0. Il est de plus possible de borner le temps dans le futur. Ceci est utile pour le contrôle d'intégrité dans le cas d'applications où le domaine temporel est fini. Nous ne le faisons pas ici pour ne pas alourdir l'exposé lors de la définition des fonctions sur les types temporels.

Une partition est définie par une fonction  $u$  de  $\mathbb{N}$  dans  $2^{\mathbb{N}}$  dont les propriétés sont données par la figure 2.2.

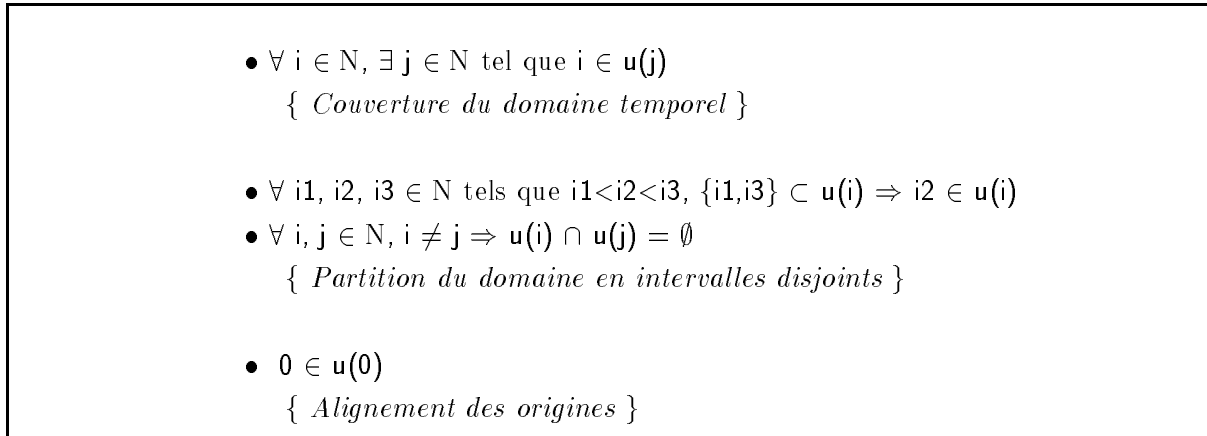


FIG. 2.2 – Propriétés des unités (d'après [WJS95])

Chaque partition possible de la droite des réels définit ainsi une *unité d'observation du temps* qui fixe le degré d'approximation employé pour repérer les instants dans le temps c'est-à-dire l'interprétation d'un intervalle de temps comme un instant ponctuel (Cf. figure 2.1). Les unités les plus courantes et en particulier celles correspondant aux partitions usuelles des calendriers sont nommées : millénaire, siècle, année, mois, jour, semaine, heure, seconde etc. Comme dans le langage courant le nom d'une unité sert aussi à désigner les grains qu'elle définit.

Une unité d'observation est *régulière* si les intervalles de la partition qui la définit ont tous la même taille comme les heures, les jours ou les semaines. Une unité d'observation est *irrégulière* si ses intervalles ont des tailles variables comme les mois ou les années.

La précision la plus fine d'observation du temps admise par un SGBD est définie par une unité régulière appelée *chronon* [JCE<sup>+</sup>94]. Les autres unités sont alors définies comme une partition de l'ensemble des chronons c'est-à-dire de l'ensemble des entiers naturels plutôt que des réels.

### 2.1.2 Relation d'ordre *est plus fine* sur les unités d'observations

Lorsque l'on peut faire correspondre de manière biunivoque à tout grain d'une unité  $u_1$  un ensemble de grains consécutifs d'une unité  $u_2$  est dite *plus fine* que  $u_1$  ( $u_1$  est *plus grossière* que  $u_2$ ). Par exemple l'unité mois est plus fine que l'unité année (toute année est composée de douze mois consécutifs) et inversement l'unité mois est plus grossière

que l'unité jour (tout mois est composé d'un ensemble de jours consécutifs  $\Gamma$  comportant de 28 à 31 jours selon le cas).

On parle d'unités comparables lorsqu'une unité réalise une partition d'une autre unité  $\Gamma$  comme c'est le cas entre les mois et les jours  $\Gamma$  et d'unités non-comparables lorsque ce n'est pas le cas  $\Gamma$  par exemple entre les mois et les semaines (Cf. figure 2.3).

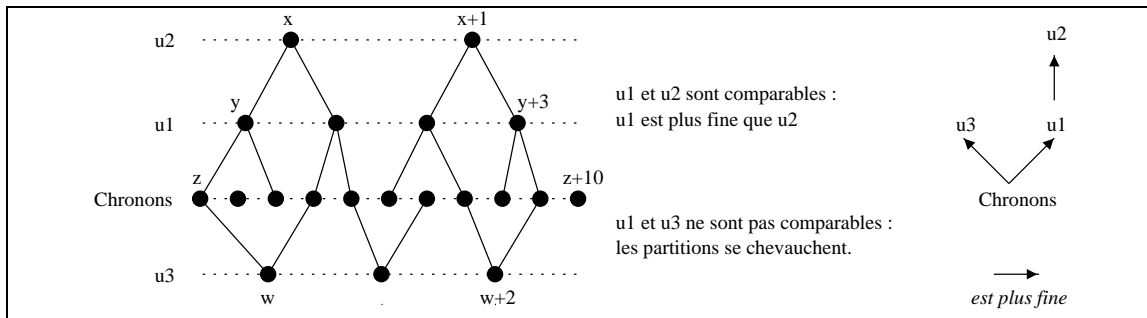


FIG. 2.3 – Unités comparables et non comparables selon la relation  $\prec$

La relation *est plus fine*  $\Gamma$  notée  $\prec$  est une relation d'ordre partiel (Cf. figure 2.4) : par exemple  $\Gamma$  les unités mois et semaine définissant des partitions qui se chevauchent  $\Gamma$  ces unités ne sont pas comparables selon cette relation.

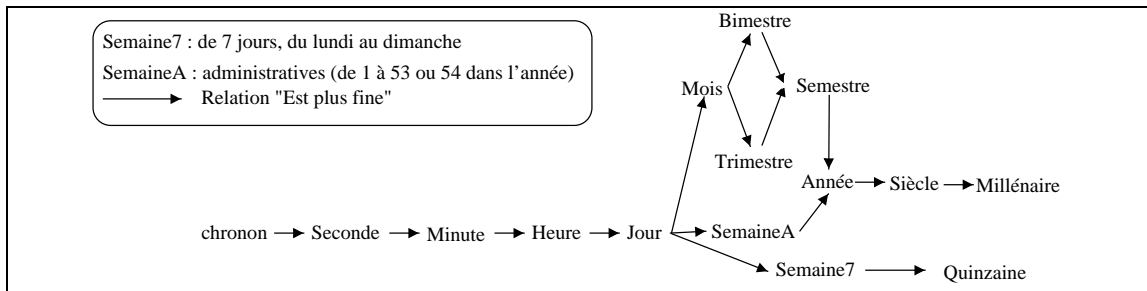


FIG. 2.4 – La relation *est plus fine* entre unités d'observation

Deux unités  $u$  et  $v$  ont toujours une borne inférieure selon la relation  $\prec$   $\Gamma$  notée  $U_{\text{binf}}(u, v)$ . Le chronon est l'unité la plus fine de l'ensemble des unités.

### 2.1.3 Construction de la relation *est plus fine*

A chaque couple d'unités comparables sont associées des fonctions permettant de décrire les conversions correspondantes. Le passage d'une unité à une unité plus fine augmente la précision de l'observation du temps : nous parlons de l'*expansion* d'une unité dans une autre. Inversement  $\Gamma$  dans le cas du passage d'une unité à une unité plus grossière  $\Gamma$  nous parlons de l'*approximation* d'une unité (Cf. figure 2.5).

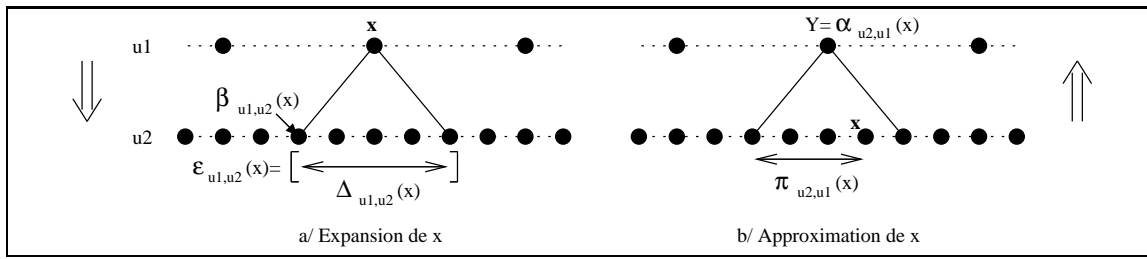


FIG. 2.5 – *Expansion et approximation d'un grain*

Les fonctions liées à l'expansion d'une unité dans une autre sont ( $u1$  et  $u2$  sont deux unités telles que  $u2 \prec u1$ ):

- Expansion :  $\varepsilon_{u1,u2}$  dénote la fonction d'*expansion* de  $u1$  dans  $u2$  :  $\varepsilon_{u1,u2}(x)$  est l'intervalle d'entiers formé des numéros de grains de  $u2$  que contient le grain de  $u1$  de numéro  $x$ . Par exemple les douze numéros de mois que comporte une année de numéro donné.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{année,mois}}(1) &= [12 \dots 23], \\ \varepsilon_{\text{heure,minute}}(3) &= [180 \dots 239]\end{aligned}$$

- Dimensionnement :  $\Delta_{u1,u2}$  dénote la fonction de *dimensionnement* de l'expansion de  $u1$  dans  $u2$  :  $\Delta_{u1,u2}(x)$  est la dimension de l'intervalle  $\varepsilon_{u1,u2}(x)$ . Par exemple le nombre de jours d'une année est 366 ou 365 le nombre d'heures dans un jour est 24.

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{année,jour}}(x) &= 365 \text{ ou } 366 \text{ selon la valeur de } x, \\ \Delta_{\text{jour,heure}}(x) &= 24, \text{ quel que soit } x\end{aligned}$$

- Bornage :  $\beta_{u1,u2}$  dénote la fonction de *bornage* de l'expansion de  $u1$  dans  $u2$  :  $\beta_{u1,u2}(x)$  est la borne inférieure de l'intervalle  $\varepsilon_{u1,u2}(x)$  ;  $\beta_{u1,u2}(x+1) - 1$  en est la borne supérieure.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{u1,u2}(x) &= [\beta_{u1,u2}(x) \dots \beta_{u1,u2}(x+1) - 1] \\ \beta_{u1,u2}(0) &= 0 ; \\ \forall x \geq 0, \beta_{u1,u2}(x+1) &= \beta_{u1,u2}(x) + \Delta_{u1,u2}(x)\end{aligned}$$

Les fonctions liées à l'approximation d'une unité dans une autre sont ( $u1$  et  $u2$  sont deux unités telles que  $u2 \prec u1$ ):

- Approximation :  $\alpha_{u2,u1}$  dénote la fonction d'*approximation* de  $u2$  dans  $u1$  :  $\alpha_{u2,u1}(x)$  est le numéro du grain de  $u1$  dont l'expansion dans  $u2$  contient  $x$ . Autrement dit  $\alpha_{u2,u1}(x)$  est l'entier unique  $Y$  tel que  $\beta_{u1,u2}(Y) \leq x < \beta_{u1,u2}(Y+1)$ .

$$\begin{aligned}Y = \alpha_{u2,u1}(x) &- x \in \varepsilon_{u1,u2}(Y) \\ &- \exists Z \text{ tel que } x = \beta_{u1,u2}(Y) + Z \text{ et } 0 \leq Z < \Delta_{u1,u2}(Y)\end{aligned}$$



- Positionnement :  $\pi_{u_2, u_1}$  dénote la fonction de *positionnement* relative dans  $u_2$  par rapport à  $u_1$  :  $\pi_{u_2, u_1}(x)$  est la position relative Z de  $x$  dans l'expansion de son approximation Y. En quelque sorte elle représente l'information perdue du fait de la diminution de la précision.

$$\pi_{u_2, u_1}(x) = x - \beta_{u_1, u_2}(\alpha_{u_2, u_1}(x))$$

### 2.1.4 Relation de régularité entre deux unités d'observations

Nous étendons la notion de régularité définie précédemment par rapport au chronon (Cf. section 2.1.1) pour caractériser une propriété particulière des couples d'unités comparables selon la relation  $\prec$  :  $u_1$  et  $u_2$  étant deux unités telles que  $u_1 \prec u_2$  nous disons que  $u_1$  est régulière par rapport à  $u_2$  si tout grain de  $u_1$  comporte un nombre fixe de grains de  $u_2$ .

Nous spécifions un prédicat pour cette relation :

EstRég? : deux unités  $\rightarrow$  un booléen

{ EstRég?( $u, v$ ) -  $v \prec u$  et  $\Delta_{u,v}$  est constante }

Une unité régulière est ainsi un unité régulière par rapport au chronon  $\Gamma$  le chronon étant  $\Gamma$  par définition  $\Gamma$  régulier. Par exemple  $\Gamma$  l'année est régulière par rapport au mois  $\Gamma$  bien que le mois ne soit pas régulier (par rapport au chronon) ; par contre  $\Gamma$  l'année n'est pas régulière par rapport au jour  $\Gamma$  bien que le jour soit une unité régulière (Cf. figure 2.6).

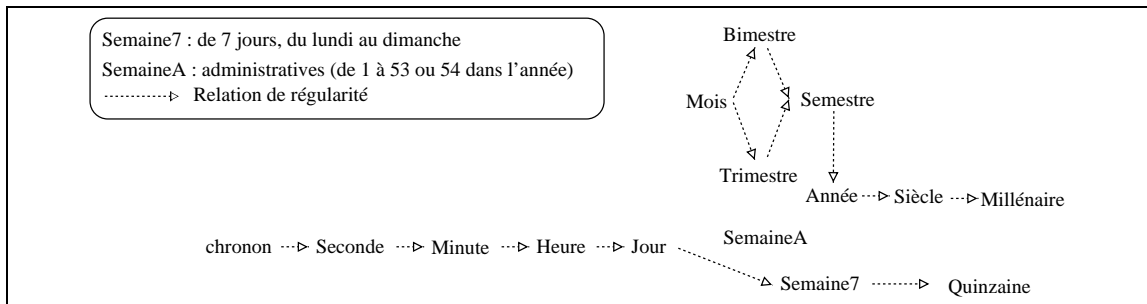


FIG. 2.6 – La relation de régularité entre unités d'observation

Si  $u_1$  et  $u_2$  sont deux unités régulières entre elles  $\Gamma \Delta_{u_1, u_2}(x)$  est constant quel que soit le grain  $x \Gamma$  on le nomme alors *facteur de grossissement* de  $u_1$  dans  $u_2 \Gamma$  noté  $\Gamma_{u_1, u_2}$ . Par exemple :

$$\Delta_{\text{année, mois}}(x) = 12 = \Gamma_{\text{année, mois}}$$

$$\Delta_{\text{jour, seconde}}(x) = 86400 = \Gamma_{\text{jour, seconde}}$$

La relation de régularité permet de simplifier les fonctions de conversions de la section précédente (Cf. figure 2.7).

Si  $\text{EstRég?}(u_1, u_2)$  alors :

$$\beta_{u_1, u_2}(x) = x * \Gamma_{u_1, u_2}$$

$$\varepsilon_{u_1, u_2}(x) = [x * \Gamma_{u_1, u_2} \dots (x+1) * \Gamma_{u_1, u_2} - 1]$$

Par exemple :  $\beta_{\text{jour, seconde}}(x) = x * 86400$

$$\alpha_{u_2, u_1}(x) = x \text{ quotient } \Gamma_{u_1, u_2}$$

$$\pi_{u_2, u_1}(x) = x \text{ reste } \Gamma_{u_1, u_2}$$

FIG. 2.7 – Simplification des fonctions de conversion pour les couples d'unités régulières

## 2.2 Spécification des types temporels de base

Nous étudions ici les fonctions permettant de manipuler durées et instants. Nous ne développons pas les questions liées aux entrées/sorties. Elles sont l'objet de la section 2.5.

Tout instant est caractérisé par la durée le séparant de l'origine. Les durées sont réparties en deux types : durées signées et durées non signées.

La figure 2.8 montre la hiérarchie des types selon la relation  $\text{EstUn}\Gamma$  en faisant apparaître le niveau auquel les principales méthodes sont définies : construction ( $\#$ ) l'unité d'observation ( $\mathcal{UO}$ ) et mesure ( $\mathcal{M}$ ) pour les durées et construction ( $@$ ) l'unité d'observation ( $\mathcal{UO}$ ) grain ( $\mathcal{G}$ ) et durée ( $\mathcal{D}$ ) pour les instants.

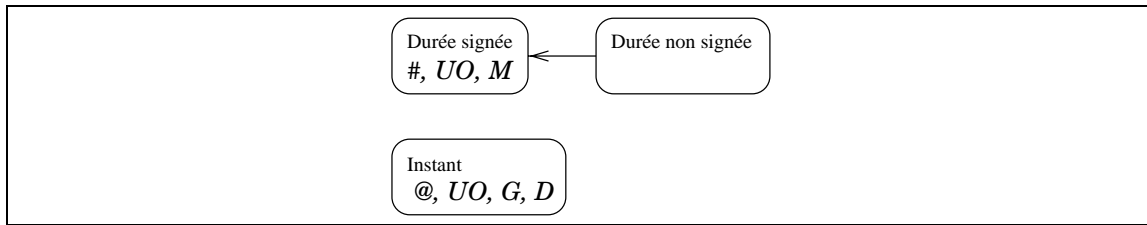


FIG. 2.8 – Hiérarchie des types temporels de base

### 2.2.1 Durées et instants

Une *durée* caractérise l'association d'un entier et d'une unité qui en donne la signification.

Pour permettre l'expression de déplacements dans le temps par rapport à un instant donné vers le passé ou vers le futur nous considérons aussi des *durées signées* caractérisées par un entier relatif et une unité d'observation.

Pour faire abstraction des représentations internes ou externes il est défini un constructeur ( $\#$ ) et deux sélecteurs associés donnant l'unité d'observation ( $\mathcal{UO}$ ) et la mesure ( $\mathcal{M}$ ) de la durée (Cf. figure 2.9).

La construction d'une durée se fait donc pas l'association d'un entier et d'une unité d'observation comme par exemple  $24\#\text{jour}$ .

$\#$  : un entier , une unité  $\longrightarrow$  une durée signée  
 $\{ x \# u \text{ est une durée observée dans l'unité } u \text{ et de mesure } x \}$

(a) Constructeur

$UO$  : une durée signée  $\longrightarrow$  une unité  
 $\{ UO(d) \text{ est l'unité d'observation de la durée } d \}$   
 $\mathcal{M}$  : une durée signée  $\longrightarrow$  un entier  
 $\{ \mathcal{M}(d) \text{ est la mesure de la durée } d \}$

(b) Sélecteurs

$UO(x \# u) = u$  ;  $\mathcal{M}(x \# u) = x$  ;  $\mathcal{M}(d) \# UO(d) = d$ .

(c) Propriétés

FIG. 2.9 – Spécification abstraite du type durée

$@$  : une durée non signée  $\longrightarrow$  un instant  
 $\{ @ (x\#u) \text{ est l'instant observé dans l'unité } u \text{ de numéro } x \text{ dans cette unité. } \}$

(a) Constructeur

$UO$  : un instant  $\longrightarrow$  une unité  
 $\{ UO(i) \text{ est l'unité d'observation de l'instant } i \}$   
 $\mathcal{G}$  : un instant  $\longrightarrow$  un entier  $\geq 0$   
 $\{ \mathcal{G}(i) \text{ est le numéro du grain approximant l'instant } i \}$   
 $\mathcal{D}$  : un instant  $\longrightarrow$  une durée non signée  
 $\{ \mathcal{D}(i) \text{ est la durée séparant l'instant } i \text{ de l'origine } \}$

(b) Sélecteurs

$UO(@ (x\#u)) = u$  ;  $\mathcal{G} (@ (x\#u)) = x$  ;  $\mathcal{D}(@ (x\#u)) = x\#u$ .

(c) Propriétés

FIG. 2.10 – Spécification abstraite du type instant

Une durée définie dans une unité régulière peut être interprétée comme la mesure d'un espace de temps. Par contre si l'unité est irrégulière comme par exemple 3#année il n'est pas possible d'interpréter la durée comme la mesure exacte d'un espace de temps. Il est toutefois possible d'en donner une interprétation exacte dans l'unité mois à savoir 36#mois l'unité année étant régulière par rapport à l'unité mois.

Dans notre modèle un *instant* est une approximation d'un espace de temps réel définie par un grain d'une unité d'observation. Un instant est défini par la durée le séparant de l'origine.

Le constructeur d'instant est noté @ (Cf. figure 2.10). Il construit un instant à partir de la durée (exprimée dans son unité d'observation) le séparant de l'origine du temps. Par exemple @24596#jour dénote l'instant de numéro 24596 dans l'unité jour c'est-à-dire séparé de l'origine par la durée 24596#jour. De même @1996#année dénote l'instant de numéro 1996 (c'est-à-dire l'année 1997 dans le calendrier grégorien).

A ce constructeur sont associés trois sélecteurs donnant l'unité d'observation de l'instant ( $\mathcal{UO}$ ) le grain approximant cet instant ( $\mathcal{G}$ ) et la durée non signée le séparant de l'origine ( $\mathcal{D}$ ). La figure 2.10 donne la spécification de ces fonctions.

## 2.2.2 Fonctions sur les instants et les durées

Le modèle fournit une variété de fonctions classiques traitant d'instants et de durées définis dans la même unité d'observation : prédicats décrivant la relation d'ordre chronologique ( $<$ ,  $\leq$ ,  $=$ ,  $\neq$ ,  $\geq$ ,  $>$ ) opérations usuelles sur les durées ( $\mathbf{d1} + \mathbf{d2}$ ,  $\mathbf{d1} - \mathbf{d2}$ ) durée séparant deux instants ( $i1 - i2$ ) somme algébrique d'une durée et d'un instant ( $i + \mathbf{d}$ ) etc. (Cf. figure 2.11).

Lorsque c'est possible ces fonctions sont étendues aux entiers : comparaison d'un instant ou d'une durée avec un entier ajout ou retrait d'un entier à une durée etc. (Cf. figure 2.12).

$\Theta$  représente un symbole de comparaison sur les entiers ( $\langle \Gamma \leq \Gamma = \Gamma \neq \Gamma \geq \Gamma \rangle$ );  $d1$  et  $d2$  dénotent deux durées signées de même unité et  $l1$  et  $l2$  deux instants de même unité :

$$d1 \Theta d2 = \mathcal{M}(d1) \Theta \mathcal{M}(d2); l1 \Theta l2 = \mathcal{D}(l1) \Theta \mathcal{D}(l2)$$

Les fonctions déterminant le maximum ou le minimum d'un ensemble de durées ou d'instants sont notées respectivement  $\mathcal{D\_Max}$   $\mathcal{D\_Min}$  et  $\mathcal{L\_Max}$   $\mathcal{L\_Min}$ .

(a) Egalité, relations d'ordre

$d1$  et  $d2$  dénotent deux durées signées de même unité et  $\Theta$  représente un symbole d'addition (+) ou de soustraction (-).

$$d1 \Theta d2 = (\mathcal{M}(d1) \Theta \mathcal{M}(d2)) \# \mathcal{UO}(d1)$$

$$\text{Propriétés: } \mathcal{UO}(d1 \Theta d2) = \mathcal{UO}(d1) = \mathcal{UO}(d2); \mathcal{M}(d1 \Theta d2) = \mathcal{M}(d1) \Theta \mathcal{M}(d2).$$

L'addition et la soustraction ont les propriétés algébriques habituelles.

(b) Addition et soustraction de durées

La durée séparant deux instants  $l1$  et  $l2$  de même unité est une durée signée. Nous dénotons cette opération par le symbole de soustraction.

$$l1 - l2 = (\mathcal{D}(l1) - \mathcal{D}(l2))$$

$$\text{Propriétés: } \mathcal{UO}(l1 - l2) = \mathcal{UO}(l1) = \mathcal{UO}(l2); \mathcal{M}(l1 - l2) = \mathcal{G}(l1) - \mathcal{G}(l2).$$

(c) Durée séparant deux instants

Un *instant absolu* est un instant défini comme précédemment par une durée le séparant de l'origine. Par opposition un *instant relatif* est défini par la durée le séparant d'un instant de référence [JCE<sup>+</sup>94]. Nous dénotons les constructeurs associés par l'un des symboles + ou -. Nous les définissons ici pour un instant  $l$  et une durée signée  $d$  de même unité.  $\Theta$  représente l'un des symboles + ou - :

$$l \Theta d = \mathcal{O}(\mathcal{D}(l) \Theta d) \quad \{ \text{précondition: } \mathcal{D}(l) \Theta d \geq 0 \}$$

Propriétés :

$$\mathcal{UO}(l \Theta d) = \mathcal{UO}(l) = \mathcal{UO}(d); \mathcal{D}(l \Theta d) = \mathcal{D}(l) \Theta d$$

$$l + d + d' = (l + d) + d' = l + (d + d'); l - d - d' = (l - d) - d'$$

(d) Instant relatif

FIG. 2.11 – Fonctions sur les instants et les durées de même unité d'observation

$\Theta$  représente un symbole de comparaison sur les entiers ( $\langle \Gamma \leq \Gamma = \Gamma \neq \Gamma \geq \Gamma \rangle$ );  $d$ ,  $r$ ,  $l$  et  $n$  dénotent respectivement une durée signée, un entier relatif, un instant et un entier naturel :

$$- d \Theta r = d \Theta (r \# \mathcal{UO}(d)) = \mathcal{M}(d) \Theta r;$$

$$r \Theta d = (r \# \mathcal{UO}(d)) \Theta d = r \Theta \mathcal{M}(d)$$

$$- l \Theta n = \mathcal{D}(l) \Theta n = \mathcal{G}(l) \Theta n;$$

$$n \Theta l = n \Theta \mathcal{D}(l) = n \Theta \mathcal{G}(l)$$

(a) Egalité, relations d'ordre

$ds$  et  $r$  dénotent respectivement une durée signée et un entier relatif;  $d$  et  $n$  dénotent respectivement une durée non signée et un entier naturel.

$$- \text{addition : } ds + r = r + ds = (\mathcal{M}(ds) + r) \# \mathcal{UO}(ds)$$

$$- \text{soustraction : } ds - r = (\mathcal{M}(ds) - r) \# \mathcal{UO}(ds);$$

$$r - ds = (r - \mathcal{M}(ds)) \# \mathcal{UO}(ds)$$

$$- \text{multiplication : } ds * r = r * ds = (\mathcal{M}(ds) * r) \# \mathcal{UO}(ds)$$

- division entière :

$$d \text{ div } n = (\mathcal{M}(d) \text{ div } n) \# \mathcal{UO}(d) \quad \{ \text{précondition : } n \neq 0 \}$$

$$d \text{ reste } n = (\mathcal{M}(d) \text{ reste } n) \# \mathcal{UO}(d) \quad \{ \text{précondition : } n \neq 0 \}$$

(b) Fonctions sur les durées et les entiers

FIG. 2.12 – Extension aux entiers des fonctions sur les instants et les durées

Les fonctions de conversions (expansion et approximation) définies sur les couples d'unités (Cf. section 2.1.3) sont étendues aux instants et aux durées. Nous utilisons le nom d'une unité pour dénoter l'expansion ou l'approximation d'un instant (Cf. figure 2.13).

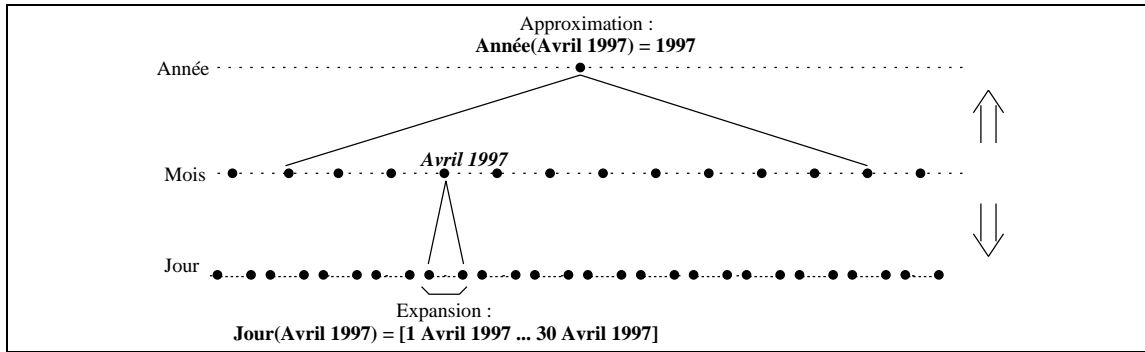


FIG. 2.13 – Exemple d'expansion et d'approximation d'un instant

Dans le cas des instants une expansion fait passer d'un grain d'une unité source à un intervalle de grains de l'unité cible plus fine. Par exemple l'expansion de l'instant @1#mois (vu comme le deuxième mois depuis l'origine dans le calendrier grégorien) dans l'unité jour résulte en l'intervalle [@31#jour..@59#jour]. Inversement l'approximation dans l'unité année de l'instant correspondant au 24 avril 1997 (observé à l'unité jour) résulte en l'instant @1996#année (correspondant à l'année 1997).

La figure 2.14 donne la spécification des fonctions d'expansion et d'approximation étendues aux instants.

Dans le cas des durées la conversion d'une durée d'une unité vers une autre n'est possible que si l'unité source est régulière par rapport à l'unité cible. Par exemple une durée formulée en années peut être convertie en mois. Par contre sa conversion en jours n'est pas définie.

### 2.2.3 Traitement d'instant et de durées d'unités différentes

Nous examinons ici le comportement des opérations définies sur les types de base et mettant en jeu des valeurs exprimées dans des unités différentes.

Nous illustrons ceci sur le cas des instants et des durées :

#### – Traitement de deux instants d'unités différentes

$l$  et  $J$  dénotent deux instants d'unités respectives  $u$  et  $v$  ;  $E_l$  et  $E_J$  dénotent les expansions de  $l$  et  $J$  dans l'unité  $w$  borne inférieure de  $u$  et  $v$  ( $E_l = w(l)$ ,  $E_J = w(J)$ ).

L'égalité n'est pas définie. Lorsque  $u$  et  $v$  sont comparables les deux instants peuvent être situés l'un par rapport à l'autre par le biais des relations entre instants et intervalles. Par exemple si  $u < v$  ( $w = u$ )  $l$  peut précéder suivre ou appartenir à l'intervalle  $E_J$ . Ainsi le 31 janvier 1995 appartient à 1995 précède mars 1996 et suit 1994.

$l$  étant un instant d'unité  $u1$  et  $u2$  une unité plus fine que  $u1$  :

$\beta_{u1,u2}(l)$  est l'instant  $\mathcal{O}(\beta_{u1,u2}(\mathcal{G}(l)) \# u2)$

$\varepsilon_{u1,u2}(l)$  est l'intervalle d'instant  $[\beta_{u1,u2}(l) \dots \beta_{u1,u2}(l+1) - 1]$

$\Delta_{u1,u2}(l)$  est l'entier  $\Delta_{u1,u2}(\mathcal{G}(l))$

$l$  étant un instant d'unité  $u2$  et  $u1$  une unité plus grossière que  $u2$  :

$\alpha_{u2,u1}(l)$  est l'instant  $\mathcal{O}(\alpha_{u2,u1}(\mathcal{G}(l)) \# u1)$

$\pi_{u2,u1}(l)$  est l'entier  $\pi_{u2,u1}(\mathcal{G}(l))$

(a) Fonctions d'expansion et d'approximation étendues aux instants

$X$  étant un intervalle  $\Gamma X^-$  et  $X^+$  dénotent respectivement ses bornes inférieure et supérieure.

$l$  étant un instant d'unité  $u$  et  $v$  étant une unité comparable à  $u$  :

- $v < u$ ,  $v(l) = \varepsilon_{u,v}(l)$ ,  $v(l)^- = \beta_{u,v}(l)$ ,  $v(l)^+ = \beta_{u,v}(l+1) - 1$
- $v > u$ ,  $v(l) = [\alpha_{u,v}(l) \dots \alpha_{u,v}(l)]$
- $v = u$ ,  $v(l) = [l \dots l]$

(b) Opérations de conversions

FIG. 2.14 – *Expansion et approximation d'un instant*

Lorsque  $u$  et  $v$  ne sont pas comparables les deux instants  $l$  et  $J$  peuvent être situés l'un par rapport à l'autre par le biais des relations entre intervalles (Cf. section 2.4.1) appliqués aux expansions  $E_l$  et  $E_J$ .

#### – Traitement de deux durées d'unités différentes

Les relations et les opérations (ajout/soustraction) sur des durées d'unités différentes ne sont définies que dans le cas où les deux unités sont régulières l'une par rapport à l'autre. C'est le seul cas où les conversions de durées sont définies (le nombre de jours correspondant à une durée de "2 mois" n'est pas fixe alors que "2 heures" font toujours "120 minutes"). De cette façon on est ramené au cas de durées exprimées dans une même unité.

#### – Somme d'un instant et d'une durée d'unités différentes

Nous spécifions ici l'addition et la soustraction entre un instant  $l$  d'unité  $u$  et une durée non signée  $d$  d'unité  $v$ . Le résultat est un instant de l'unité  $w$  borne inférieure des unités  $u$  et  $v$ . La somme algébrique d'un instant et d'une durée signée en est déduite en tenant compte du signe de la durée.



- **Cas 1,  $u \succ v$**  : exemple “janvier 1995 + 32 jours”

“janvier 1995 + 32 jours” est défini comme étant le 32<sup>ème</sup> jour après le mois de janvier 1995 c’est-à-dire le 32<sup>ème</sup> jour après le 31 janvier 1995 soit le 4 mars 1995.

$l + d$  est ainsi l’instant obtenu par addition de  $d$  à la borne supérieure de l’expansion de  $l$  dans l’unité  $v$ . De même  $l - d$  est déduit de la borne inférieure de cette expansion.

$$(1) \quad u \succ v \Rightarrow l + d = v(l)^+ + d = \beta_{u,v}(l+1) - 1 + d$$

$$(1') \quad u \succ v \Rightarrow l - d = v(l)^- - d = \beta_{u,v}(l) - d$$

- **Cas 2,  $u \prec v$**  : exemple “30 janvier 1996 + 3 mois”

Lorsque l’unité  $v$  est régulière par rapport à l’unité  $u$  la durée peut être convertie dans l’unité de l’instant. Par exemple janvier 1996 + 3 ans = janvier 1996 + 36 mois = janvier 1999.

$$(2) \quad \text{EstRég}(v, u) \Rightarrow l + d = l + \Gamma_{v,u} * d$$

$$(2') \quad \text{EstRég}(v, u) \Rightarrow l - d = l - \Gamma_{v,u} * d$$

Dans les autres cas et du fait de l’irrégularité des unités toute règle de calcul est arbitraire. Ces cas sont ainsi exclus du modèle.

- **Cas 3, unités non comparables** : exemple “janvier 1995 + 6 semaines”

L’opération peut être ramenée aux cas précédents en raisonnant sur la borne supérieure de l’expansion de  $l$  dans l’unité  $w$  borne inférieure de  $u$  et  $v$ . Ainsi “janvier 1995 + 6 semaines” = “31 janvier 1995 + 6 semaines” = “31 janvier 1995 + 42 jours” = “14 mars 1995”. La conversion de la durée ne peut être faite que si son unité  $v$  est régulière par rapport à l’unité  $w$ .

$$(3) \quad u \text{ et } v \text{ non comparables } \Gamma w = U \text{binf}(u, v) \wedge \text{EstRég}(v, w) \Rightarrow l + d = w(l)^+ + d$$

$$(3') \quad u \text{ et } v \text{ non comparables } \Gamma w = U \text{binf}(u, v) \wedge \text{EstRég}(v, w) \Rightarrow l - d = w(l)^- - d$$

## 2.3 Représentations multigranulaires d’instant

Les instants peuvent être représentés (de manière interne ou externe) sous *forme multigranulaire* en associant une séquence d’entiers et un *système d’unités d’observation*.

Un tel système est une séquence d’unités comparables deux à deux en ordre décroissant selon la relation  $\prec$  comme par exemple les systèmes AMJ = [année  $\Gamma$  mois  $\Gamma$  jour] ou JHM = [jour  $\Gamma$  heure  $\Gamma$  minute]. Un système est dit *régulier* si les unités qui le composent sont régulières deux à deux comme par exemple le système JHM.

Une valeur temporelle peut être exprimée sous forme multigranulaire dans un système donné dès lors qu’elle est observée dans l’unité la plus fine de ce système. Ceci généralise l’usage courant pour dénoter des dates dans un calendrier comme par exemple 31/8/1995 (système AMJ).

### 2.3.1 Forme irréductible et formes multigranulaires

La *forme irréductible* d'un grain d'une unité  $u$  est le numéro  $x$  de ce grain dans l'unité  $u$ . Nous parlons du grain  $x$  de l'unité  $u$ . Les grains étant numérotés à partir de 0,  $x$  représente la durée séparant le grain considéré de l'origine. Par exemple, la 12032<sup>ème</sup> seconde depuis l'origine est le grain 12031 de l'unité seconde.

Une *forme multigranulaire* du grain  $x$  de l'unité  $u$  dans un système  $SU [u_1, \dots, u_n]$  (tel que  $u_n = u$ ) est une séquence d'entiers naturels  $[x_1, \dots, x_n]$  chacun d'eux caractérisant une durée dans chacun des  $u_i$ . Le grain  $x$  est obtenu en calculant les instants relatifs successifs à partir de l'origine et en ajoutant les entiers  $x_1$  à  $x_n$  :  $x = (((0 + x_1) + x_2) + \dots) + x_n$ . Ces calculs successifs portent sur des valeurs d'unités différentes, une conversion est réalisée à chaque fois, comme cela est défini dans la section 2.2.3.

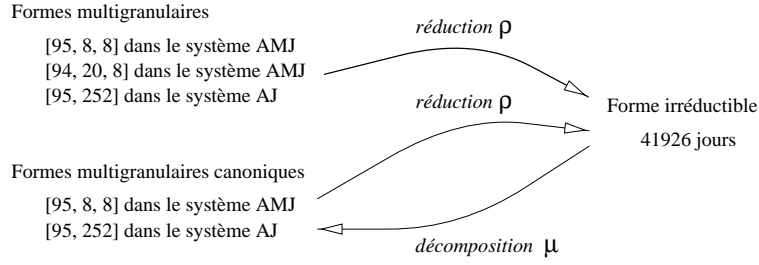
$[0, 2, 79, 91]$  est une forme multigranulaire dans le système JHMS du grain 12031 de l'unité seconde. Le détail du calcul est le suivant :

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 \{ \text{dans l'unité jour} \} \\ \text{Heure}(0) &= 0 \\ 0+2 &= 2 \{ \text{dans l'unité heure} \} \\ \text{Minute}(2) &= 120 \\ 120 + 79 &= 199 \{ \text{dans l'unité minute} \} \\ \text{Seconde}(199) &= 11940 \\ 11940 + 91 &= 12031 \{ \text{dans l'unité seconde} \} \end{aligned}$$

La *forme multigranulaire canonique* du grain  $x$  de l'unité  $u$  dans un système  $SU$  (dont l'unité d'observation est  $u$ ) est la séquence d'entiers naturels telle que chaque entier est la position relative du grain par rapport à son approximation dans l'unité immédiatement plus grossière dans  $SU$ . Par exemple,  $[0, 3, 20, 31]$  est la forme multigranulaire canonique dans le système JHMS du grain 12031 de l'unité seconde : pour atteindre ce grain, il s'est écoulé 3 heures 20 minutes et 31 secondes depuis l'origine et c'est donc la 32<sup>ème</sup> seconde de la 21<sup>ème</sup> minute de la 4<sup>ème</sup> heure du 1<sup>er</sup> jour.

### 2.3.2 Conversion entre formes

La relation existant entre formes irréductible et multigranulaires d'un grain est définie par deux opérations de conversion (Cf. figure 2.15) : une *décomposition* convertit une forme irréductible en sa forme multigranulaire canonique dans un système d'unités ; une *réduction* convertit toute forme multigranulaire en sa forme irréductible. La composition de ces opérations permet des conversions plus générales d'un système d'unités dans un autre. On peut ainsi convertir "le 9 septembre 1996" en "le jour 253 de l'année 1996" ou en "le lundi de la semaine 37 de l'année 1996" en passant par leur forme irréductible commune (41926 jours, en supposant que l'origine est le 1/1/1900).



(a) Conversions entre formes (en considérant l'origine au 1/1/1900)

- $\mu_{\text{SU}}$  dénote la fonction de *décomposition* dans le système  $\text{SU}$  :  $\mu_{\text{SU}}(\mathbf{x})$  est la forme multigranulaire canonique dans  $\text{SU}$  du grain  $\mathbf{x}$  de l'unité la plus fine de  $\text{SU}$ .
- $\rho_{\text{SU}}$  dénote la fonction de *réduction* du système  $\text{SU}$  :  $\rho_{\text{SU}}(\mathbf{X})$  est la forme irréductible du grain de forme multigranulaire  $\mathbf{X}$  dans  $\text{SU}$ .
- Propriétés (le constructeur de séquence  $[\ ]$  et l'opération  $\&$  de concaténation sont définis en annexe C) :

$$(1) \mu_{[u]}(\mathbf{x}) = [\mathbf{x}]$$

$$(2) \mu_{[u_1, \dots, u_n]}(\mathbf{x}) = \mu_{[u_1, \dots, u_{n-1}]}(\alpha_{u_n, u_{n-1}}(\mathbf{x})) \& [\pi_{u_n, u_{n-1}}(\mathbf{x})] \quad \{ n \geq 2 \}$$

ou, si  $[u_1, \dots, u_n]$  est régulier :

$$(2') \mu_{[u_1, \dots, u_n]}(\mathbf{x}) = [\alpha_{u_n, u_1}(\mathbf{x})] \& \mu_{[u_2, \dots, u_n]}(\pi_{u_n, u_1}(\mathbf{x})) \quad \{ n \geq 2 \}$$

$$= [\mathbf{x} \text{ quotient } \Gamma_{u_n, u_1}] \& \mu_{[u_2, \dots, u_n]}(\mathbf{x} \text{ reste } \Gamma_{u_n, u_1})$$

$$(3) \rho_{[u]}([\mathbf{x}]) = \mathbf{x}$$

$$(4) \rho_{[u_1, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n]) = \beta_{u_{n-1}, u_n}(\rho_{[u_1, \dots, u_{n-1}]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{n-1}])) + \mathbf{x}_n \quad \{ n \geq 2 \}$$

ou bien :

$$(4') \rho_{[u_1, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n]) = \rho_{[u_2, \dots, u_n]}([\beta_{u_1, u_2}(\mathbf{x}_1) + \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n]) \quad \{ n \geq 2 \}$$

ou, si  $[u_1, \dots, u_n]$  est régulier :

$$(4'') \rho_{[u_1, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n]) = \beta_{u_1, u_n}(\mathbf{x}_1) + \rho_{[u_2, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n]) \quad \{ n \geq 2 \}$$

$$= \mathbf{x}_1 * \Gamma_{u_1, u_n} + \rho_{[u_2, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n])$$

$$(4''') \rho_{[u_1, \dots, u_n]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n]) = \Gamma_{u_{n-1}, u_n} * (\rho_{[u_1, \dots, u_{n-1}]}([\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{n-1}])) + \mathbf{x}_n$$

(b) Fonctions de décomposition et de réduction

FIG. 2.15 – Formes irréductibles et formes multigranulaires

## 2.4 Ensembles d'instants

Parmi les diverses représentations d'un ensemble d'instant  $\Gamma$  nous distinguons les *intervalles d'instant*  $\Gamma$  les *D-séquences (séquences d'intervalles discontinus)*  $\Gamma$  et les *séquences d'instant périodiques*.

Nous présentons ici ces différents types ainsi que les fonctions qui leur sont associées.

### 2.4.1 Intervalles

Un *intervalle d'instant*  $\Gamma$  caractérisé par ses deux bornes  $\Gamma$  est la séquence en ordre chronologique de tous les instants observables dans l'unité d'observation  $\Gamma$  entre ces deux instants.

Il est possible de construire un intervalle avec deux instants (constructeur  $[l \dots J]$ ) ou avec un instant et une durée (constructeur  $[l \mid d]$ ). Les sélecteurs associés permettent d'obtenir ses bornes  $\Gamma$  sa durée et son unité d'observation (Cf. figure 2.16).

Le modèle fournit une variété de fonctions traitant des intervalles : un ensemble de prédicats décrivant des relations sur les intervalles (à la manière de Allen [All83] Cf. section 1.1.3) et également des relations entre instants et intervalles (Cf. figure 2.17). Il y a enfin des opérateurs (Cf. figure 2.18) : les opérateurs ensemblistes et des opérateurs de translation et de redimensionnement des intervalles.

Comme pour les instants  $\Gamma$  nous étendons les fonctions d'expansion et d'approximation aux intervalles.

L'expansion dans une unité  $u2$  d'un intervalle observé dans une unité  $u1$   $u2 \prec u1$  est l'intervalle de  $u2$  déduit de l'expansion dans  $u2$  des bornes de l'intervalle. De même  $\Gamma$  l'approximation dans une unité  $u1$  d'un intervalle observé dans une unité  $u2$   $u2 \prec u1$  est un intervalle de  $u1$  déduit de l'approximation dans  $u1$  des bornes de l'intervalle. La définition des fonctions est la suivante :

$$\begin{aligned} \varepsilon_{u1,u2}([l \dots J]) &= [\beta_{u1,u2}(l) \dots \beta_{u1,u2}(J+1) - 1] \\ \alpha_{u2,u1}([l \dots J]) &= [\alpha_{u2,u1}(l) \dots \alpha_{u2,u1}(J)] \end{aligned}$$

Nous utilisons le nom d'une unité pour dénoter l'opération d'expansion ou d'approximation d'un intervalle ( $X$  est un intervalle d'unité  $u$  et  $v$  est une unité comparable à  $u$ ) :

$$\text{Si } v \prec u, v(X) = \varepsilon_{u,v}(X);$$

$$\text{Si } v \succ u, v(X) = \alpha_{u,v}(X);$$

$$\text{Si } v = u, v(X) = X.$$

$$\text{Dans les trois cas: } (v(X))^- = (v(X^-))^- , (v(X))^+ = (v(X^+))^+.$$

Par exemple  $\Gamma$ jour([1914 ... 1918]) = [1/1/1914 ... 31/12/1918]  $\Gamma$ et année([juin 1997 ... septembre 1997]) = [1997 ... 1997].

$l$  et  $J$  dénotant deux instants de même unité d'observation  $\Gamma$  si  $l \leq J$   $\Gamma[l \dots J]$  dénote l'intervalle fermé de borne inférieure  $l$  et de borne supérieure  $J$  et sinon un intervalle vide ;  $[\ ]$  dénote l'intervalle vide. De plus  $\Gamma l$  et  $d$  dénotant un instant et une durée non signée de même unité  $\Gamma$   $[l \mid d]$  dénote l'intervalle  $[l \dots l+d-1]$ .

(a) Constructeurs

- L'intervalle vide est caractérisé par le prédicat **EstVide?** :

$$\text{EstVide?} : \text{un intervalle} \longrightarrow \text{un booléen} \quad \{ \text{vrai} - \text{l'intervalle donné est vide} \}$$

- Les bornes d'un intervalle.

$X$  dénotant un intervalle non vide  $\Gamma X^-$  dénote sa borne inférieure. Si  $X$  est borné à droite  $\Gamma X^+$  dénote sa borne supérieure :

$$[l \dots J]^- = l, [l \dots J]^+ = J, [X^- \dots X^+] = X$$

- La dimension d'un intervalle borné est le nombre d'instant qu'il comporte.

$$\text{Dim} : \text{un intervalle borné} \longrightarrow \text{un entier} \geq 0$$

$$\{ \text{Dim}(X) = \text{si EstVide?}(X) \text{ alors } 0 \text{ sinon } \mathcal{G}(X^+) - \mathcal{G}(X^-) + 1 \}$$

- L'unité d'observation d'un intervalle non vide est l'unité d'observation de ses bornes.

$$\mathcal{UO} : \text{un intervalle non vide} \longrightarrow \text{une unité}$$

$$\{ \mathcal{UO}(X) = \mathcal{UO}(X^-) = \mathcal{UO}(X^+) \}$$

- La durée d'un intervalle est mesurée dans l'unité de l'intervalle. Sa mesure est la dimension de l'intervalle :

$$\mathcal{D} : \text{un intervalle borné} \longrightarrow \text{une durée non signée}$$

$$\{ \mathcal{D}(X) = \text{Dim}(X) \# \mathcal{UO}(X) \}$$

(b) Sélecteurs

FIG. 2.16 – *Spécification abstraite du type intervalle*

Nous adoptons les treize relations définies par Allen [All83] (Cf. section 1.1.3) :

| relation $X r Y$            | définition                                    | réciproque $Y r^{-1} X$   |
|-----------------------------|---|---------------------------|
| $X$ précède $Y$ ( $X < Y$ ) | $X^+ < Y^-$                                   | $Y$ suit $X$ ( $X > Y$ )  |
| $X$ rejoint $Y$             | $X^+ = Y^-$                                   | $Y$ est rejoint par $X$   |
| $X$ chevauche $Y$           | $X^- < Y^- \wedge Y^- < X^+ \wedge X^+ < Y^+$ | $Y$ est chevauché par $X$ |
| $X$ est dans $Y$            | $X^- > Y^- \wedge X^+ < Y^+$                  | $Y$ englobe $X$           |
| $X$ débute $Y$              | $X^- = Y^- \wedge X^+ < Y^+$                  | $Y$ est débuté par $X$    |
| $X$ termine $Y$             | $X^- > Y^- \wedge X^+ = Y^+$                  | $Y$ est terminé par $X$   |
| $X$ égale $Y$ ( $X = Y$ )   | $X^- = Y^- \wedge X^+ = Y^+$                  | $Y$ égale $X$             |

Par ailleurs nous définissons aussi les prédicats suivants :

$X$  est contigu à  $Y$  :  $\text{Contigu?}(X, Y) - X^+ = Y^- - 1$  { relation asymétrique }

$X$  et  $Y$  sont disjoints :  $\text{Disjoints?}(X, Y) - X < Y \vee X > Y$  { relation symétrique }

$X$  est inclu dans  $Y$  (relation d'ordre) au sens large notée  $\subseteq$  ou strict notée  $\subset$ .

La réciproque (au sens large ou strict) est  $Y$  contient  $X$  (notée  $\supseteq$  ou  $\supset$ ) :

$$X \subseteq Y - X^- \geq Y^- \wedge X^+ \leq Y^+$$

{ -  $X$  est dans  $Y$  ou  $X$  débute  $Y$  ou  $X$  termine  $Y$  ou  $X$  égale  $Y$  }

$$X \subset Y - (X^- > Y^- \wedge X^+ \leq Y^+) \vee (X^- \geq Y^- \wedge X^+ < Y^+)$$

{ -  $X$  est dans  $Y$  ou  $X$  débute  $Y$  ou  $X$  termine  $Y$  }

(a) Relations sur les intervalles

$l$  et  $X$  dénotent un instant et un intervalle de même unité.

$l$  précède  $X$  noté  $l < Y^-$  -  $l < X^-$

$l$  suit  $X$  noté  $l > Y$  -  $l > X^+$

$l$  appartient à  $X$  noté  $l \in Y - X^- \leq l \wedge l \leq X^+$

(b) Relations entre intervalles et instants

FIG. 2.17 – Prédicats sur les intervalles

X et Y dénotent deux intervalles non vides observés selon la même unité.

– Intersection notée  $X \cap Y$  :

$$X \cap Y = \text{si } \text{Disjoints?}(X, Y) \text{ alors } [] \text{ sinon } [l_{\text{Max}}(X^-, Y^-) \dots l_{\text{Min}}(X^+, Y^+)]$$

– Couverture (plus petit intervalle contenant chacun des deux intervalles) :

$$\text{Couverture}(X, Y) : [l_{\text{Min}}(X^-, Y^-) \dots l_{\text{Max}}(X^+, Y^+)]$$

Si les deux intervalles ne sont pas disjoints leur couverture est leur union ensembliste.

(a) Opérations internes sur les intervalles

Une *translation* déplace un intervalle dans le temps dans le passé ou dans le futur d'une durée donnée. Un *redimensionnement* allonge ou raccourcit la dimension de l'intervalle d'une durée donnée en déplaçant l'une des deux bornes.

X dénote un intervalle non vide et **d** une durée signée de même unité.

– Translations : on surcharge les symboles + et -.

$$\begin{array}{ll} X + d \text{ dénote l'intervalle } [X^- + d \dots X^+ + d] & \{ \text{précondition: } X^- + d \geq 0 \} \\ X - d \text{ dénote l'intervalle } [X^- - d \dots X^+ - d] & \{ \text{précondition: } X^- - d \geq 0 \} \end{array}$$

– Redimensionnements

• borne inférieure fixe

$$\begin{array}{ll} X ++ d \text{ dénote l'intervalle } [X^- \dots X^+ + d] & \{ \text{précondition: } X^+ + d \geq 0 \} \\ X +- d \text{ dénote l'intervalle } [X^- \dots X^+ - d] & \{ \text{précondition: } X^+ - d \geq 0 \} \end{array}$$

• borne supérieure fixe

$$\begin{array}{ll} X -- d \text{ dénote l'intervalle } [X^- - d \dots X^+] & \{ \text{précondition: } X^- - d \geq 0 \} \\ X -+ d \text{ dénote l'intervalle } [X^- + d \dots X^+] & \{ \text{précondition: } X^- + d \geq 0 \} \end{array}$$

(b) Translation et redimensionnement d'un intervalle

FIG. 2.18 – Opérations sur les intervalles

## 2.4.2 D\_séquences : séquences d'intervalles discontinus

Une *D\_séquence* (*temporal element* dans [JCE<sup>+</sup>94]  $\Gamma$  *coalesced temporal element* dans [BCTP95]  $\Gamma$  *interval* ou *non convex interval* dans [Lad86]  $\Gamma$  *generalized interval* dans [Yu 83]) est une séquence finie d'intervalles non vides de même unité  $\Gamma$  deux à deux disjoints et non contigus  $\Gamma$  et ordonnés selon la relation précède :

$$[X_1, X_2, \dots, X_n] \text{ est une D_séquence } - \forall k \in [1 \dots n-1], X_k^+ < X_{k+1}^- - 1.$$

Tout ensemble fini d'instant peut être représenté par une D\_séquence  $\Gamma$  et les D\_séquences héritent des opérations ensemblistes. Les opérations de construction  $\Gamma$  les sélecteurs associés et les opérations de manipulations des D\_séquences sont présentés dans la figure 2.19.

## 2.4.3 Séquences d'instant périodiques

Une *séquence d'instant périodique* est une séquence d'instant observés selon la même unité et en ordre chronologique tels que deux instant consécutifs soient séparés par la même durée non nulle  $\Gamma$  la *période* de la séquence. Les séquences d'instant périodiques généralisent les intervalles (séquences périodiques de période 1). Un constructeur  $\Gamma$  des sélecteurs  $\Gamma$  des relations et des opérations de changement de période sont définies sur les séquences périodiques (Cf. figure 2.20).



La *forme compacte* d'un ensemble d'instantants  $E$  de même unité est la D\_séquence  $DS$  formée des instantants de  $E$ .

Dans le cas où les instantants de  $E$  sont d'unités différentes la forme compacte de  $E$  est définie dans l'unité borne inférieure de ces unités à partir des expansions des instantants donnés.

Nous définissons ainsi les deux opérations de conversion suivantes

**LaFC** : un ensemble d'instantants  $\longrightarrow$  une D\_séquence

**Lext** : une D\_séquence  $\longrightarrow$  un ensemble d'instantants

{ *Propriétés* :  $\text{Lext}(\text{LaFC}(E)) = E$  ;  $\text{LaFC}(\text{Lext}(DS)) = DS$  }

(a) Forme compacte d'un ensemble d'instantants

– La borne inférieure (resp. supérieure) d'une D\_séquence  $DS$  notée  $DS^-$  (resp.  $DS^+$ ) est la borne inférieure du premier intervalle (resp. la borne sup. du dernier) :  $DS^- = (\text{premier}(DS))^-$  ;  $DS^+ = (\text{dernier}(DS))^+$

– La dimension d'une D\_séquence est le nombre d'instantants de son extension :

**Dim** : une D\_séquence  $\longrightarrow$  un entier  $\geq 0$  {  $\text{Dim}(DS) = \text{cardinal}(\text{Lext}(DS))$  }

– L'unité d'observation d'une D\_séquence est l'unité commune à tous ses intervalles (extension de la fonction  $\mathcal{UO}$  aux D\_séquences).

– La durée (cumulée des intervalles) d'une D\_séquence est mesurée dans l'unité d'observation de la D\_séquence. Sa mesure est la dimension de la D\_séquence :

**$\mathcal{D}$**  : une D\_séquence  $\longrightarrow$  une durée non signée {  $\mathcal{D}(DS) = \text{Dim}(DS) \# \mathcal{UO}(DS)$  }

(b) Sélecteurs

– Ajout et suppression d'un instantant à une D\_séquence.  $DS$  et  $l$  dénotent respectivement une D\_séquence et un instantant de même unité. Nous surchargeons les symboles  $+$  et  $-$  dans ce contexte :

$DS + l = \text{LaFC}(\text{Lext}(DS) \cup \{l\})$  et  $DS - l = \text{LaFC}(\text{Lext}(DS) \setminus \{l\})$ .

– Opérations ensemblistes. Les D\_séquences héritent de toutes les opérations ensemblistes.  $DS1$  et  $DS2$  dénotant deux D\_séquences et  $\Theta$  représentant une opération ensembliste ( $\cup, \cap, \setminus$ ) :  $DS1 \Theta DS2 = \text{LaFC}(\text{Lext}(DS1) \Theta \text{Lext}(DS2))$ . Ces opérations sont également étendues aux intervalles :  $DS \Theta X = \text{LaFC}(\text{Lext}(DS) \Theta \text{Lext}(X))$ .

– Itérateurs sur les D\_séquences. Les D\_séquences héritent de toutes les opérations sur les séquences (Cf. annexe C) et en particulier d'itérateurs permettant d'appliquer une opération à tous les intervalles d'une D\_séquence. Nous en montrons quelques exemples dans la section 2.4.5.

(c) Autres opérations

FIG. 2.19 – Opérations sur les D\_séquences

$[l \mid d, n]$  dénote la séquence périodique d'instant initial  $l$  de période  $d$  et de dimension  $n$  où  $l$  et  $d$  dénotent un instant et une durée non signée de même unité et  $n$  dénote un entier naturel :

$[l \mid d, 0]$  dénote une séquence vide.

$$[l \mid d, n+1] = \{J \mid \exists k \in [0..n] \text{ tel que } J = l+k*d\} \quad \{ n > 0 \}$$

Ce constructeur est défini par les relations de récurrence suivantes :

$$(1) [l \mid d, 0] = []$$

$$(2) [l \mid d, n+1] = [l \mid d, n] \& [l + n*d] \quad \{ n \geq 0 \}$$

De plus  $[l \mid d, \dots]$  dénote une séquence périodique infinie non bornée à droite. Le prédicat **EstBornée?** caractérise une séquence périodique bornée.

(a) Constructeur

– Extension aux séquences périodiques des sélecteurs portant sur les intervalles :

– Borne inférieure et borne supérieure :  $[l \mid d, n]^- = l$  ;  $[l \mid d, n]^+ = l + (n-1)*d$

– Dimension :  $\text{Dim } [l \mid d, n] = n$

– Unité d'observation :  $\mathcal{UO} ([l \mid d, n]) = \mathcal{UO} (l)$

– Durée :  $\mathcal{D} ([l \mid d, n]) = (n-1)*d + 1$

– La période d'une séquence périodique est une durée :

**Pér** : une séquence périodique  $\longrightarrow$  une durée  $> 0$   $\{Pér([l \mid d, n]) = d\}$

– Propriété (SP dénotant une séquence périodique) :

**EstBornée?**(SP)  $\wedge$   $\neg$ **EstVide?**(SP)  $\Rightarrow$   $[SP^- \mid Pér(SP), \text{Dim}(SP)] = SP$

(b) Sélecteurs

Nous étendons certaines des relations définies sur les intervalles. **S1** et **S2** dénotant deux séquences périodiques bornées non vides de même unité :

**S1 chevauche S2** –  $S1^- < S2^- \wedge S2^- < S1^+ \wedge S1^+ < S2^+$

**S1 = S2** –  $\text{Lext}(S1) = \text{Lext}(S2)$

**S1 < S2** –  $S1^+ < S2^-$

**S1  $\subseteq$  S2** –  $S1^- \geq S2^- \wedge S1^+ \leq S2^+$

(c) Relations

Le changement de période  $\Gamma$  noté  $\leftrightarrow$  permet la *compression* ( $d < 0$   $\Gamma$  diminution de la période) ou l'*étalement* ( $d > 0$   $\Gamma$  augmentation de la période) d'une séquence périodique.  $[l \mid d, n] \leftrightarrow d' = [l \mid d + d', n] \{précondition: d+d' \geq 0\}$

(d) Changement de période

FIG. 2.20 – Opérations sur les séquences d'instant périodiques

## 2.4.4 Structuration d'ensembles d'instant, Calendriers

Nous proposons ici les moyens de structurer les ensembles d'instant afin de pouvoir représenter des calendriers [LMF86GLEW96].

Nous définissons ainsi une  $n$ -séquence de  $T$  ( $T$  étant un type quelconque) notée  $[T]^n$  comme suit :

1-séquence de  $T \equiv$  séquence de  $T : [T]^1 \equiv [T]$

( $n+1$ )-séquence de  $T \equiv$  séquence de  $n$ -séquences de  $T : [T]^{n+1} \equiv [ [T]^n ]$

Les  $n$ -séquences peuvent être représentées par des arbres dont les feuilles sont des 1-séquences de  $T$  et les noeuds non-terminaux sont des constructeurs de séquences (Cf. figure 2.21).

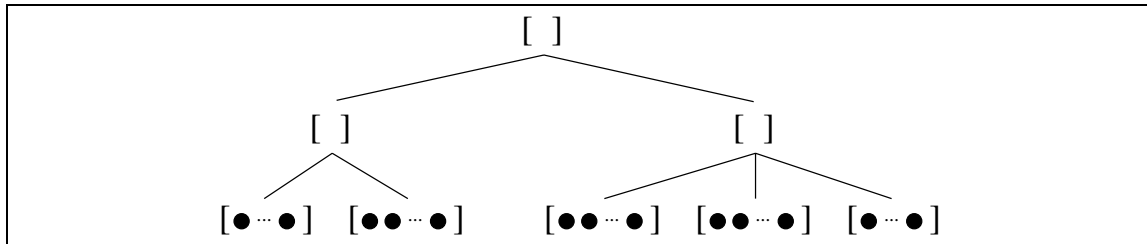


FIG. 2.21 – Représentation arborescente d'une 3-séquence

Nous définissons des fonctions sur les séquences d'instant pour les structurer et obtenir des calendriers ( $n$ -séquences). La partition selon un système d'unités notée  $\mathcal{P}_{SU}$  regroupe successivement les instant ayant même approximation dans les unités du système d'unités. L'expansion structurée selon un système d'unités notée  $\mathcal{E}_{SU}$  effectue les expansions successives d'une séquence d'instant dans les unités du système d'unités. Leurs spécifications sont données dans la figure 2.23 en terme des fonctions **Application** et **DebEtFin** et **LesGroupes**.

La fonction **Application** applique une fonction élément par élément à tous les éléments d'une séquence. La fonction **DebEtFin** découpe une séquence en deux selon une propriété (Cf. annexe C).

La fonction **LesGroupes** construit une partition d'une séquence  $S$  selon une fonction  $f$  (chacune des séquences de la séquence résultat regroupe les éléments consécutifs de  $S$  ayant la même image par  $f$ ) (Cf. figure 2.22).

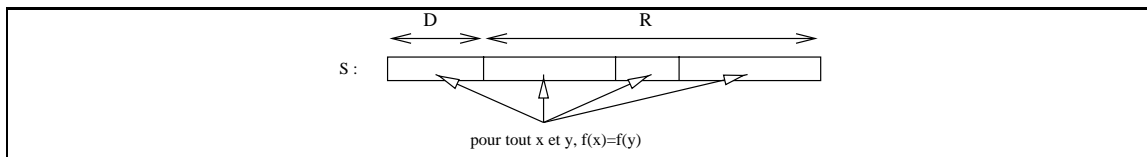


FIG. 2.22 – LesGroupes : partition d'une séquence selon une fonction

La spécification de la fonction **LesGroupes** est la suivante :

**LesGroupes** :  $[T], (T \rightarrow T') \rightarrow [[T]]$

*{ LesGroupes (S, f) est la séquence de séquences composées des éléments de S telles que tous les éléments d'une sous-séquence ont même image par f. }*

(1) **LesGroupes** ([], f) = []

(2) **LesGroupes** ( $e \circ S, f$ ) = soit  $\langle D, R \rangle = \text{DebEtFin}(S, \lambda x \cdot f(x) \neq f(e))$   
dans  $(e \circ D) \circ \text{LesGroupes}(R, f)$

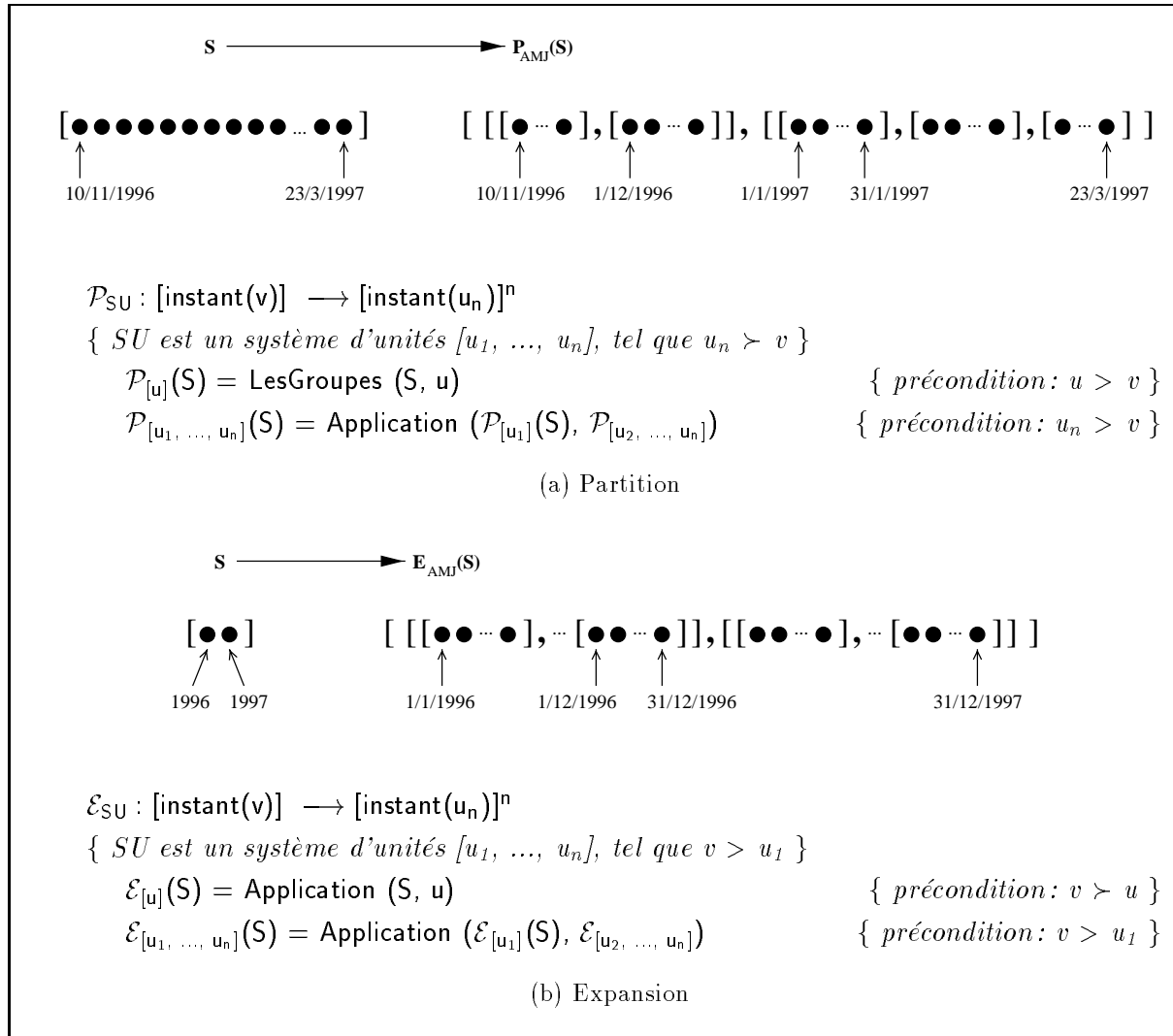


FIG. 2.23 – *Construction de calendriers*

## 2.4.5 Exemples de manipulation de séquences d'instant

Les types précédents sont des sous-types du type séquence (Cf. figure 2.24).

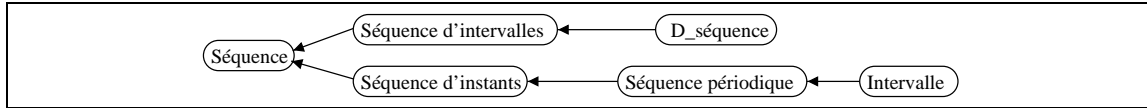


FIG. 2.24 – Hiérarchie de types associés aux séquences d'instant

Nous montrons ici divers exemples d'expressions d'instant et de séquences d'instant. Nous utilisons pour cela des fonctions générales sur les séquences. La fonction **Application** applique une fonction  $\Gamma$ élément par élément à tous les éléments d'une séquence. La fonction **Sélection** extrait d'une séquence tous les éléments vérifiant une propriété donnée. La fonction **Appli\_Sel** est la composition des fonctions **Application** et **Sélection** (application d'une fonction aux éléments résultant d'une sélection). La fonction **LaFin** fournit la fin d'une séquence à partir du premier élément vérifiant une propriété donnée. Toutes ces fonctions sont définies dans l'annexe C.

Les instants sont formulés en considérant que l'origine est l'année 1 du calendrier grégorien.

- Le numéro de jour de semaine (1 à 7) d'un instant  $l$  (unité jour) :

$$\pi_{\text{jour,semaine7}}(l) + 1$$

- Le numéro de mois (de 1 à 12) d'un instant  $l$  (unité jour) :

$$\pi_{\text{mois,an}}(\text{mois}(l)^-) + 1$$

- Les années pleines entre deux instants  $l$  et  $J$  (unité jour)  $\Gamma l$  et  $J$  inclus :

$$[\text{année}(l)^- + (\text{si } \text{jour}(\text{année}(l)^-)^- = l \text{ alors } 0 \text{ sinon } 1) \\ \dots \text{année}(J)^- - (\text{si } \text{jour}(\text{année}(J)^-)^+ = J \text{ alors } 0 \text{ sinon } 1)]$$

- Les lundis de 1996 (le lundi est le jour de numéro 0) :

$$\text{Sélection}(\text{jour}(@1995\#\text{année}), \lambda j \bullet \pi_{\text{jour,semaine7}}(j) = 0)$$

- Les week-end de 1996 :

$$\text{Appli\_Sel}(\text{jour}(@1995\#\text{année}), \lambda j \bullet \pi_{\text{jour,semaine7}}(j) = 5, \lambda j \bullet [j, j+1])$$

- Le premier lundi de 1996 (on sait qu'il existe) :

$$\text{premier}(\text{LaFin}(\text{jour}(@1995\#\text{année}), \lambda j \bullet \pi_{\text{jour,semaine7}}(j) = 0))$$

- Le mardi de la première semaine pleine de Novembre 1996 (le jour suivant le premier lundi de Novembre 1996) :

$$1 + \text{premier}(\text{LaFin}(\text{jour}(@[1995, 10]\#[\text{année}, \text{mois}]), \lambda j \bullet \pi_{\text{jour}, \text{semaine}}(j) = 0))$$

- Les jours de la semaine administrative contenant le 15 mars 1996 sous forme multigradulaire dans le système AMJ :

$$\text{Application}(\text{jour}(\text{semaineA}(@[1995, 2, 14]\#\text{AMJ})^-), \mu_{\text{AMJ}})$$

- Le calendrier de l'année 1996  $\Gamma$  décomposé en mois et en jours :

- En utilisant les fonctions d'expansion :

$$\text{Application}(\text{mois}(@1995\#\text{année}), \text{jour})$$

- En utilisant les fonctions sur les calendriers :

$$\mathcal{E}_{[\text{année}, \text{mois}, \text{jour}]}([@1995\#\text{année}])$$

- Le calendrier de l'année 1996  $\Gamma$  décomposé en semaines et en jours :

- En utilisant les fonctions d'expansion :

$$\text{Application}(\text{semaineA}(@1995\#\text{année}), \text{jour})$$

- En utilisant les fonctions sur les calendriers :

$$\mathcal{E}_{[\text{année}, \text{semaineA}, \text{jour}]}([@1995\#\text{année}])$$

- Le calendrier de janvier 1996 décomposé en semaines et en jours :

- En utilisant les fonctions d'expansion :

$$\text{Appli\_Sel}(\text{semaineA}(@1995\#\text{année}), \\ \lambda s \bullet \text{jour}(s) \subseteq \text{jour}(@[1995, 0]\#[\text{année}, \text{mois}]), \\ \text{jour})$$

{ Il faut d'abord convertir l'année complète en semaines, et ensuite ne retenir que les semaines du mois de janvier }

- En utilisant les fonctions sur les calendriers :

$$\mathcal{E}_{[\text{semaineA}, \text{jour}]}([@[1995, 0]\#[\text{année}, \text{mois}])$$

## 2.5 Représentation externe des valeurs temporelles

Les formes externes des valeurs temporelles sont multiples. Elles sont liées aux unités utilisées pour exprimer les valeurs temporelles. Le modèle du temps proposé offrant un ensemble extensible d'unités d'observation du temps il est nécessaire de rendre également extensible le système de formes externes.

Dans cette section nous présentons un travail relatif au traitement des formes externes des instants [Dum96ΓCD97]. Il doit être complété pour traiter des formes externes d'ensembles d'instant et également des durées.

### 2.5.1 Diversité des formes externes

Les modes d'expression des instants sont nombreux et variés comme le témoigne le corpus suivant dans lequel toutes les expressions désignent le même instant :

- “5/8/1996” (dans le format européen)
- “8/5/1996” (dans le format américain)
- “1996-08-05” (selon le standard ISO-8601:1988 [ISO88])
- “5 Août 1996” (en Français)
- “August 5Γ1996” (en Anglais)
- “5/8/96” (sous-entendu 20<sup>ème</sup> siècle)
- “lundi semaine 33 année 1996” (dans le système d'unités [annéeΓsemaineΓjour])

Cette variété est due à divers facteurs : calendriers utilisésΓcontraintes typographiquesΓ contexte linguistique et culturelΓ habitudes personnellesΓ implicitesΓ etc. Ces facteurs peuvent être classifiés en deux grandes catégories : ceux qui dépendent du calendrier utilisé et ceux qui concernent le contexte linguistique et culturel dans lequel on se place.

Le calendrier détermine l'ensemble d'unités et de systèmes d'unités dans lesquels sont exprimées les valeurs temporelles. Le calendrier grégorienΓpar exempleΓfait intervenir les unités *jour*Γ*mois*Γ*année* et *siècle*Γet les systèmes d'unités [*année*Γ*mois*Γ*jour*] (AMJ) et [*année*Γ*mois*] entre autres.

Le contexte linguistique de son côté détermine la correspondance entre les valeurs temporelles et leurs représentations externes ainsi que la structure lexicale et syntaxique de ces représentations. Dans la section suivante nous introduisons la notion de *format* pour modéliser cette correspondance.

## 2.5.2 Formats

Nous regroupons toutes les propriétés des représentations externes des valeurs temporelles dépendant du contexte linguistique et culturel sous la notion de *format*.

Considérons par exemple le *format européen* des dates. Les formes externes de ce format sont les chaînes de caractères de la forme “13/6/1997” ou “16/6/1997”. L’interprétation de la forme externe “13/6/1997” de ce format est l’instant de forme multigranulaire [1996Γ5Γ12] dans le système d’unités AMJ. Par ailleurs les formes externes de ce format dénotent des instants observés à la granularité du *jour*.

Le domaine d’un format est un langage régulier sur l’alphabet constitué des caractères alphanumériques Γ des signes de ponctuation Γ des noms des unités et des noms des grains des unités. Il est donc entièrement caractérisé par la donnée d’une expression régulière sur cet alphabet. Par exemple l’expression régulière décrivant le domaine du format européen des dates est  $(\mathbf{1} | \mathbf{2} \dots | \mathbf{31}) / (\mathbf{1} | \mathbf{2} \dots | \mathbf{12}) / (\mathbf{0} | \mathbf{1} \dots | \mathbf{9})^+$ .

A tout format est associé un système d’unités qui permet d’accepter et d’interpréter une forme externe dans ce format. Par exemple le système d’unités associé au format européen est le système AMJ Γ associé aussi au format américain.

En parcourant une forme externe de gauche à droite on peut construire une liste d’entiers correspondant aux grains d’unités rencontrés. Cette liste contient tous les éléments de la forme multigranulaire de l’interprétation de cette forme externe Γ mais ce n’est pas toujours sa forme multigranulaire parce qu’elle n’est pas forcément ordonnée correctement. Par exemple en effectuant ce parcours sur la forme externe “13/6/1997” on obtient la liste [12Γ5Γ1996] alors que la forme multigranulaire dans le système AMJ de son interprétation est [1996Γ5Γ12] dans le format européen ou [1996Γ12Γ5] dans le format américain.

Pour résoudre ce problème nous associons à chaque format une permutation sur  $[1, n]$  (où  $n$  est le nombre d’unités du système associé à ce format) qui définit la correspondance entre les éléments de la liste de grains d’unités extraite d’une forme externe et la forme multigranulaire de son interprétation. Ainsi si l’image de 1 par cette permutation est 3 Γ l’élément d’indice 1 dans la liste extraite de la forme externe Γ sera l’élément d’indice 3 dans la forme multigranulaire recherchée.

Par exemple la liste de grains extraite de la forme externe “13/6/1997” étant [12Γ5Γ1996] Γ et la permutation associée au format européen des dates étant [3Γ2Γ1] Γ on déduit que la forme multigranulaire de l’instant dénoté par “13/6/1997” dans le système d’unités AMJ est [1996Γ5Γ12].

Une fois que nous disposons de la forme multigranulaire d’une valeur temporelle dans un système d’unités nous pouvons obtenir cette valeur temporelle grâce aux constructeurs associés aux types temporels (Cf. figure 2.25).



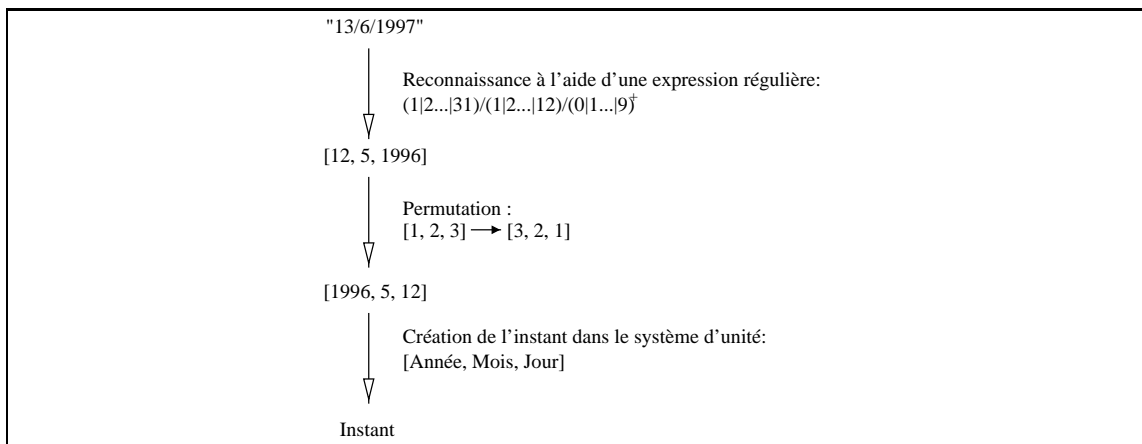


FIG. 2.25 – Reconnaissance d'une forme externe d'un instant

Nous sommes donc en mesure de calculer l'interprétation d'une forme externe connaissant le système d'unités et la permutation associée à son format (fonction  $\text{Rec}$  Cf. figure 2.26). Inversement nous pouvons aussi produire la forme externe d'une valeur temporelle dans un format donné à partir de sa forme multigranulaire dans le système d'unités de ce format (fonction  $\text{FE}$  Cf. figure 2.26). Ces considérations nous permettent de dire qu'un format est entièrement caractérisé par la donnée d'une expression régulière d'un système d'unités et d'une permutation (Cf. figure 2.26).

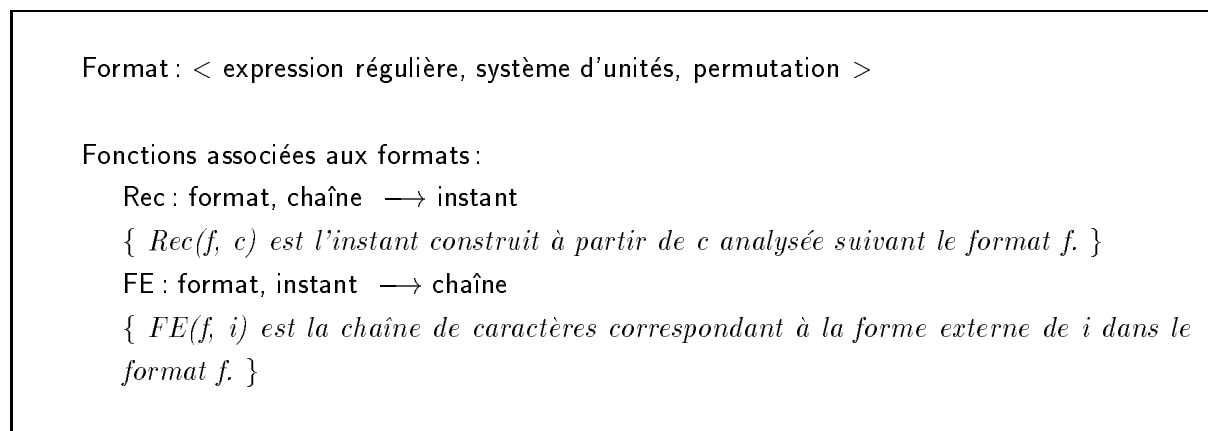


FIG. 2.26 – Format

Une forme externe peut appartenir au domaine de plusieurs formats à la fois. La forme externe "5/8/1996" peut correspondre à une date exprimée dans le format européen et à une autre date dans le format américain. Pour traiter ce type d'ambiguïté nous regroupons les formats au sein de *systèmes de formats*. Un système de formats est un ensemble de formats de domaines deux-à-deux disjoints. Ainsi au sein d'un système de formats les formes externes ont une interprétation unique.

La forme externe d'instant "5/8/96" présentée dans le corpus ci-dessus fait référence à l'instant de forme multigranulaire [1996Γ8Γ5] dans le système d'unités AMJ et non pas

à celui de forme multigranulaire [96Γ8Γ5] qu'on obtiendrait normalement. Ceci est dû à l'usage courant qui est de repérer un instant non pas par rapport à l'origine (imposée par le modèle ou par le système)Γmais par rapport à un autre instant de référence qu'on appellera *origine translatée du temps*. En l'occurrenceΓil s'agit dans cet exemple du 1<sup>er</sup> janvier 1900.

Un *seuil de changement d'origine* est également défini. Si l'instant obtenu à partir de l'origine translatée est postérieur au seuil de changement d'origineΓalors c'est l'origine standard qui est utilisée. AinsiΓdans l'exempleΓsi la valeur reconnue est "5/8/1996"Γet que l'instant correspondant est calculé à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1900Γl'instant résultant est le 5/8/3896. Il faut donc fixer le seuilΓpar exempleΓau 31/12/1999.



# Chapitre 3

## Tempos : Historiques

Nous l'avons vu au chapitre 1 les SGBD temporels associent les historiques au niveau des attributs ou au niveau des n-uplets (ou des objets selon le modèle de données). L'association au niveau des n-uplets permet d'avoir une vision globale d'une entité à un instant donné. Mais dans ce cas la nature de l'évolution propre à chaque attribut est perdue : ceux-ci peuvent évoluer ou non de manière synchrone éventuellement à des granularités différentes.

Au niveau des applications on peut vouloir observer l'évolution au niveau des attributs ou au niveau des n-uplets. Dans le modèle relationnel le respect de la première forme normale impose le choix n-uplet. Dans les modèles à objets la structuration offerte permet les deux options. Nous choisissons comme base du modèle l'étude de l'historisation des attributs sachant que l'historisation des objets pourra être traitée à partir de là.

Nous traitons dans ce chapitre des attributs historiques. Nous décrivons les caractéristiques temporelles des attributs nous classifions les historiques en fonction des modalités de leur mise à jour et nous étudions leurs représentations. Nous présentons enfin les opérations d'interrogation et de mises à jour des historiques.

### 3.1 Proposition pour un modèle d'historiques

Le *statut d'évolution* d'un attribut caractérise son comportement dans le temps et la manière avec laquelle il est observé. Il y a trois cas possibles :

- Un attribut d'un objet est *constant* si sa valeur structurelle ne doit jamais changer.
- S'il peut évoluer il est alors :
  - *Fugitif* si l'on ne s'intéresse qu'à sa valeur structurelle la plus récente qu'elle traduise une correction ou une évolution.

- *Historique* si l'on veut en observer l'évolution au cours du temps en retenant une suite d'états pertinents.

Un *historique* est la valeur associée à un attribut historique.

### 3.1.1 Caractéristiques des historiques

Une association temporelle est l'association d'un attribut et d'un couple  $\langle M, V \rangle : V$  est la valeur structurelle observée de l'attribut au moment  $M$  un moment étant ici un instant ou un ensemble d'instant. Le couple  $\langle M, V \rangle$  est appelé *instantané*.

Au niveau le plus abstrait un attribut historique est une fonction à domaine d'entités et à valeur historique un historique étant lui même une fonction à domaine temporel [WD93].

Un historique est caractérisé par :

- La *dimension temporelle* qui fixe la signification des estampilles temporelles par rapport au monde réel (temps de validité) ou par rapport au SGBD (temps de transaction).
- L'*unité d'observation* qui fixe la granularité de l'observation de son évolution. C'est l'unité des instants datant les instantanés. Dans le cas d'attributs bitemporels deux unités sont définies l'une pour le temps de validité et l'autre pour le temps de transaction.
- Le *domaine temporel* (de validité et/ou de transaction) noté  $\text{DomT}$  qui est le domaine de la fonction historique sous-jacente. Il peut être modifié dynamiquement par des opérations spécifiques<sup>1</sup>.
- Le type de la valeur structurelle de l'attribut.

### 3.1.2 Modalités de construction des historiques

Un historique est construit par un ensemble de mises à jour sur la base qui fournissent les données traduisant l'évolution de l'attribut considéré ou des corrections le concernant. Ces données peuvent ne porter que sur une partie du domaine temporel instants choisis selon une périodicité propre à la nature de l'attribut. Dans ce cas les valeurs associées aux autres instants du domaine sont définies selon diverses modalités que nous précisons ici.

---

1. Le domaine temporel d'un attribut est un sous-ensemble de la période de vie de l'entité considérée. On peut ainsi décrire des situations où une propriété n'est pas définie temporairement. C'est par exemple le cas si l'on considère les périodes d'emploi d'un salarié d'une entreprise, entrecoupées de périodes d'absence.

Les mises à jour d'un attribut historique construisent un ensemble d'instantanés que nous appelons *effectifs* pour marquer le fait qu'ils sont issus d'une saisie de données. Leurs valeurs sont dites *effectives* et leurs instants forment le *domaine (temporel) effectif* de l'historique  $\Gamma$  noté **DomEff**. Par opposition  $\Gamma$  le *domaine potentiel* de l'historique  $\Gamma$  noté **DomPot** est la différence entre le domaine temporel et le domaine effectif<sup>2</sup>. Il correspond aux instants pour lesquels les mises à jour n'ont pas fourni de données. Les valeurs et instantanés correspondant sont dit *potentiels*  $\Gamma$  pour marquer que leur valeur n'est pas pour autant nécessairement absente dans la réalité et peut être déterminée au moment de la consultation de l'historique par une *interpolation temporelle* sur l'ensemble des instantanés effectifs. Dans le cas où la mise à jour doit traduire une absence effective d'informations dans la réalité de l'application  $\Gamma$  la valeur effective est dite *absente*.

Nous distinguons quatre types d'attributs historiques selon la manière de déterminer les valeurs potentielles :

- Attribut historique *discret* : les valeurs potentielles sont interprétées comme des valeurs absentes (exemple : historique des ventes d'un magasin selon une périodicité fixée a priori).
- Attribut historique *régulier* : c'est un cas particulier d'attribut discret ne comportant que des instantanés effectifs. Son domaine temporel  $\Gamma$  par nature dynamique est égal à son domaine effectif (exemple : historique des opérations de crédit sur un compte bancaire).
- Attribut historique *en escalier* : l'attribut considéré évolue de telle manière que ses valeurs restent stables entre deux modifications (exemple : historique du solde d'un compte en banque).
- Attribut historique *interpolé* : les valeurs potentielles sont déterminées par une fonction d'interpolation temporelle (exemple : historique d'un processus physique).

Un attribut historique observé selon le temps de transaction est par nature en escalier. Un attribut historique bitemporel peut être vu comme un attribut en escalier sur le temps de transaction  $\Gamma$  dont les valeurs structurelles sont des historiques sur le temps de validité.

La figure 3.1 illustre les divers types d'historiques. Pour chaque cas  $\Gamma$  la figure montre le domaine temporel de l'historique et les points effectifs de saisie.

---

2. Dans [SS93] on distingue de même les *time points* qui forment le domaine temporel et les *data points* qui forment le domaine effectif.

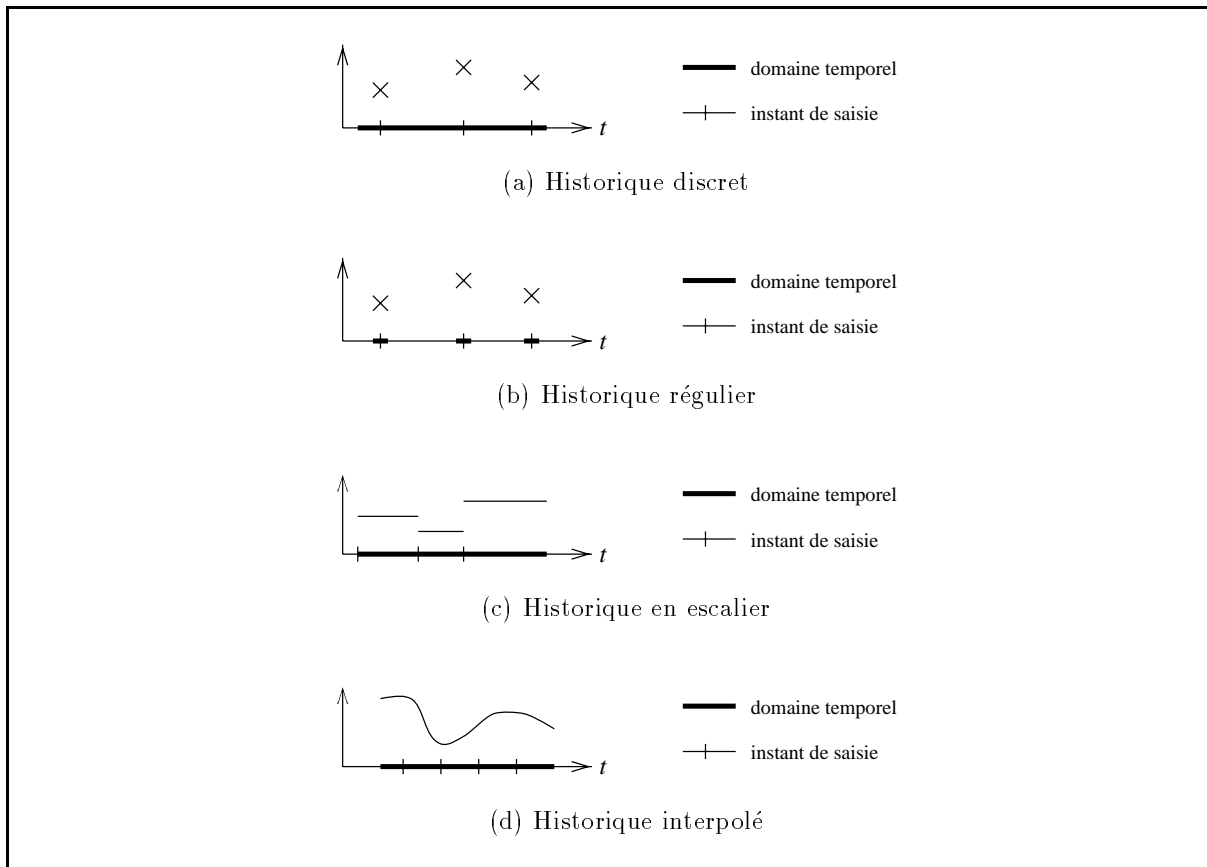


FIG. 3.1 – Les divers types d'attributs historiques

### 3.1.3 Représentation des historiques

Toute séquence d'instantanés est appelée une *chronique*. Son domaine temporel est implicitement donné par l'ensemble de ses instantanés. Une chronique peut être interprétée comme un historique régulier et inversement. D'un autre côté les représentations des historiques sont basées sur celles des chroniques.

Toutes les valeurs d'un historique ne sont pas nécessairement stockées. TEMPOS propose deux types de représentations :

- Représentation *en extension* : l'historique est décrit en faisant abstraction des mises à jour qui l'ont défini ; c'est une représentation du graphe de la fonction temporelle sous-jacente sous forme d'une chronique de tous ses instantanés. Elle est déduite des instantanés effectifs de l'historique et de l'interprétation de ses valeurs potentielles.
- Représentation *en compréhension* : l'historique est décrit par son domaine temporel la chronique de ses instantanés effectifs et une fonction d'interpolation temporelle. Dans le cas des historiques discrets ou en escalier cette fonction est fournie par le système. Dans le cas des historiques interpolés elle est donnée explicitement par l'utilisateur. Ainsi la valeur d'un historique en compréhension à un instant  $i$  donné est définie par :

- $i \in \text{DomT}$ 
  - $i \in \text{DomEff}$ : Valeur structurelle de l'instantané
  - $i \in \text{DomPot}$ : Interpolation selon le type d'historique :
    - Discret : Valeur absente
    - Escalier : Valeur de l'instantané précédent
    - Interpolé : Valeur interpolée avec la fonction fournie
- $i \notin \text{DomT}$  : Non défini

La figure 3.2 illustre l'interprétation d'une chronique de valeurs saisies selon que l'attribut correspondant est défini comme étant discret, en escalier ou interpolé.

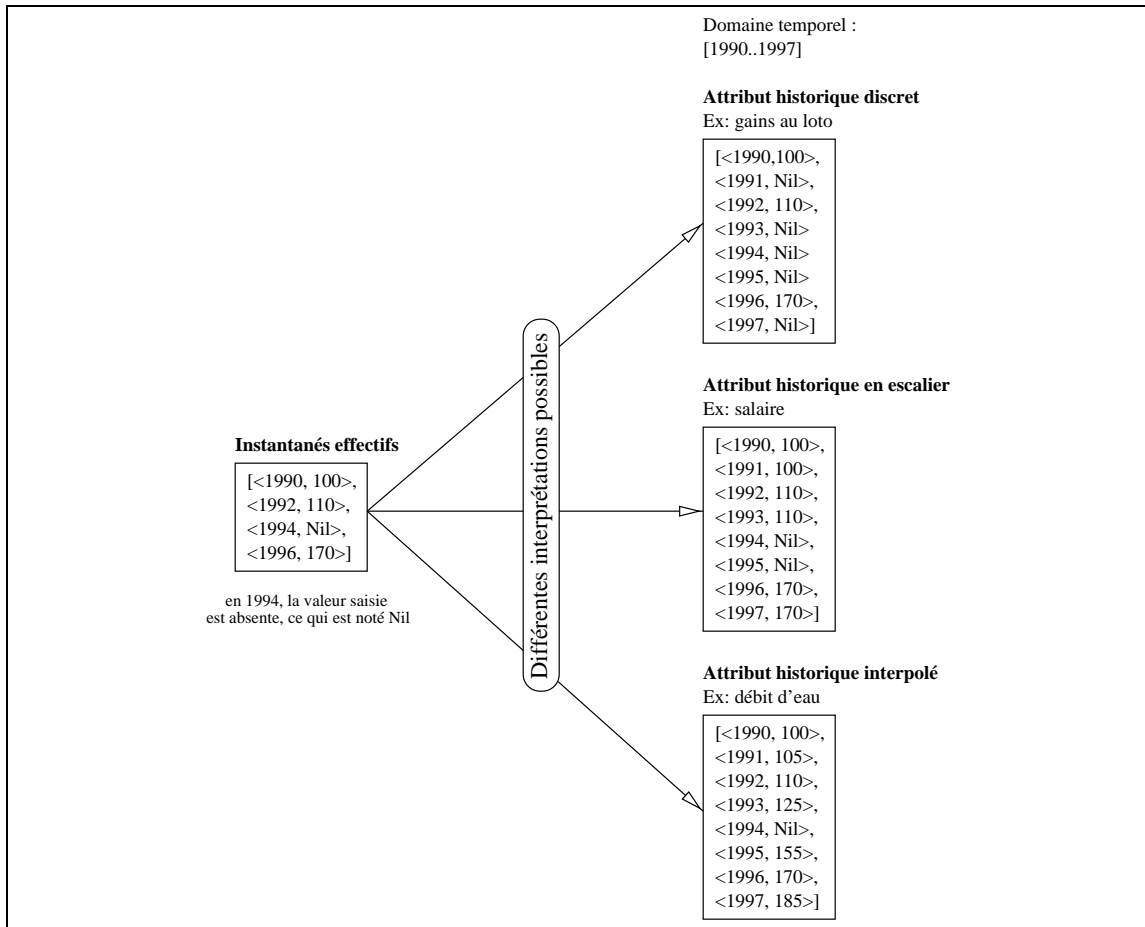


FIG. 3.2 – *Interprétation des instantanés effectifs suivant le type d'attribut historique*

### 3.1.4 Représentation des chroniques

Pour un instantané  $\langle M, V \rangle \Gamma M$  peut être un instant ou un ensemble d'instant. En effet une même valeur structurelle peut être datée par un seul instant ou par un ensemble d'instant pour traduire que la valeur observée est la même à chacun des instants de cet ensemble.



Nous parlons de  $L\_instantanés$  de  $X\_instantanés$  ou de  $D\_instantanés$  selon que le moment d'observation est un instant ou un intervalle ou une D\_séquence.

De même nous particularisons trois formes de représentation d'une chronique sous forme d'une séquence d'instantanés (Cf. figure 3.3) :

- Une  $L\_chronique$  est une séquence de  $L\_instantanés$  en ordre chronologique. Une même valeur structurelle peut y apparaître plusieurs fois.
- Une  $X\_chronique$  est une séquence de  $X\_instantanés$  en ordre croissant selon la relation *précède*<sup>3</sup> sur les intervalles. Ces intervalles sont disjoints deux à deux et une même valeur structurelle peut apparaître plusieurs fois. Une  $X\_chronique$  est dite sous forme *canonique* si le regroupement par intervalles est maximal c'est-à-dire si deux  $X\_instantanés$  consécutifs dont les intervalles sont contigus ont des valeurs structurelles différentes.
- Une  $D\_chronique$  est une séquence de  $D\_instantanés$  dont les valeurs structurelles sont distinctes deux à deux.

|                  |  |
|------------------|--|
| $L\_chronique :$ | $[<1, v1>, <2, v1>, <3, v1>, <4, v2>, <5, v2>, <7, v3>, <8, v1>, <9, v1>]$ , |
| $X\_chronique :$ | $[<[1...3], v1>, <[4...5], v2>, <[7...7], v3>, <[8...9], v1>]$               |
| $D\_chronique :$ | $[<[[1...3], [8...9]], v1>, <[[4...5]], v2>, <[[7...7]], v3>]$               |

FIG. 3.3 – Représentations d'une chronique (les instants sont figurés par des entiers)

Les modèles étudiés dans le chapitre 1 proposent des représentations équivalentes à l'une ou l'autre de ces trois formes. Dans TEMPOS un même historique quelque soit son type (discret en escalier interpolé) peut être vu au travers de  $L\_chronique$   $X\_chronique$  ou  $D\_chronique$ .

---

3.  $[I..J]$  précède  $[K..L] \iff J < K$

### 3.1.5 Types associés au modèle d'historiques

Nous définissons les types temporels nécessaires à la formalisation du modèle d'historiques.

- Le type  $\text{Instantané}(u, T)$  caractérise les instantanés observés à l'unité  $u$  et dont la valeur structurelle est de type  $T$ . Il est spécialisé en trois sous-types  $\text{I\_instantané}(u, T)$ ,  $\text{X\_instantané}(u, T)$  et  $\text{D\_instantané}(u, T)$  se distinguant selon que la valeur temporelle est un instant, un intervalle ou une D\_séquence (Cf. figure 3.4a).

Les informations portées par un instantané (quelle que soit la spécialisation) sont accessibles par les trois fonctions suivantes :  $S$  étant un instantané,  $\text{UO}(S)$ ,  $\text{VS}(S)$  et  $\text{VT}(S)$  dénotent respectivement l'unité d'observation, la valeur structurelle et la valeur temporelle (instant, intervalle ou D\_séquence selon la spécialisation) de  $S$ . Les prédicats définis sur les valeurs temporelles sont étendus aux instantanés. Par exemple, deux X\_instantanés sont dans la relation *précède* si leurs intervalles le sont ; deux D\_instantanés sont disjoints si leurs D\_séquences le sont ; etc.

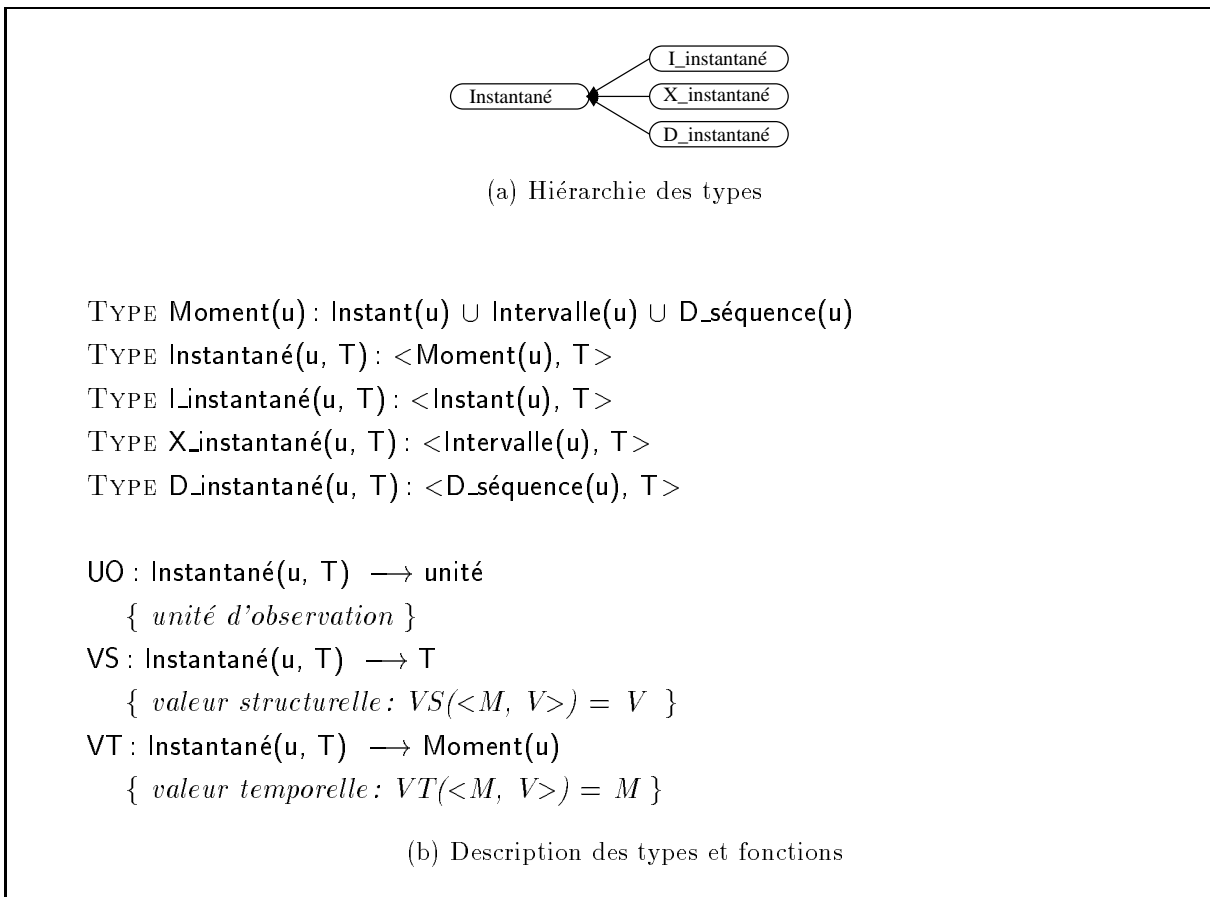
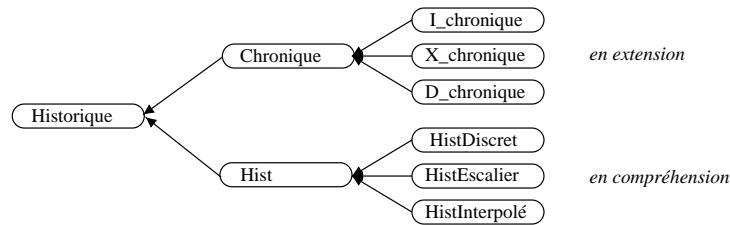


FIG. 3.4 – Le type *Instantané*

- Le type Historique ( $u, T$ ) caractérise les historiques observés à l'unité  $u$  et dont les valeurs structurelles sont de type  $T$ . Il est spécialisé en deux sous-types nommés Chronique ( $u, T$ ) et Hist ( $u, T$ ) correspondant respectivement aux représentations en extension et en compréhension des historiques (Cf. figure 3.5a).

Les informations portées par un historique (quelle que soit la représentation) sont accessibles par les fonctions suivantes (Cf. figure 3.5b) :  $H$  étant un historique  $\Gamma UO(H)$  et  $DomT(H)$  dénotent respectivement l'unité d'observation et le domaine temporel de  $H$  ;  $DomS(H)$  est le domaine structurel de  $H$   $\Gamma$  ensemble des valeurs structurelles présentes dans les instantanés composant  $H$ .  $I$  étant un instant  $\Gamma VS(H, I)$  est la valeur structurelle observée à l'instant  $I$ . Inversement  $\Gamma IO(H, V)$  est l'ensemble des instants auxquels la valeur structurelle  $V$  a été observée.



(a) Hiérarchie des types

$UO : \text{Historique } (u, T) \longrightarrow \text{unité}$   
 $\{ \text{unité d'observation} \}$

$DomT : \text{Historique } (u, T) \longrightarrow \{ \text{Instant } (u) \}$   
 $\{ \text{domaine temporel} \}$

$VS : \text{Historique } (u, T), \text{Instant } (u) \longrightarrow T$   $\{ \text{Précondition: } I \in DomT(H) \}$   
 $\{ VS(H, I) \text{ est la valeur structurelle à l'instant } I, \text{ Nil si elle est absente.} \}$

$IO : \text{Historique } (u, T), T \longrightarrow \{ \text{Instant } (u) \}$   
 $\{ \text{instants d'observation} \}$   
 $\{ IO(H, V) = \{ I \in DomT(H) \mid VS(H, I) = V \} \}$

$DomS : \text{Historique } (u, T) \longrightarrow \{ T \}$   
 $\{ \text{domaine des valeurs structurelles} \}$   
 $\{ DomS(H) = \{ V \mid \exists I \in DomT(H) \text{ tel que } VS(H, I) = V \} \}$

Relation d'appartenance :

$\langle I, V \rangle$  étant de type  $I$  instantané ( $u, T$ ) et  $H$  de type Historique ( $u, T$ ),

$\langle I, V \rangle \in_i H \iff \exists I \in DomT(H) \text{ tel que } VS(H, I) = V.$

(b) Fonctions sur les historiques

FIG. 3.5 – Le type Historique

- Le type **Hist** est spécialisé en trois sous-types  $\Gamma$ **HistDiscret**,  $\Gamma$ **HistEscalier** et **HistInterpolé** qui correspondent à la classification en historiques discrets, en escalier et interpolé (les historiques réguliers sont des chroniques). Ils sont munis de fonctions spécifiques (Cf. figure 3.6) :  $H$  étant de type **Hist**,  $\text{ChronEff}(H)$  est la chronique des instantanés effectifs de  $H$  ;  $\text{DomPot}(H)$  et  $\text{DomEff}(H)$  dénotent respectivement les domaines potentiel et effectif de  $H$ .

**ChronEff** : **Hist** ( $u, T$ )  $\longrightarrow$  **Chronique** ( $u, T$ )

{ *instantanés effectifs* }

**DomPot, DomEff** : **Hist** ( $u, T$ )  $\longrightarrow$  { **Instant** ( $u$ ) }

{ *domaines potentiel et effectif* }

{  $\text{DomEff}(H) = \text{DomT}(\text{ChronEff}(H))$ ;  $\text{DomT}(H) = \text{DomPot}(H) \cup \text{Deff}(H)$ ;

$\text{DomPot}(H) \cap \text{Deff}(H) = \emptyset$  }

(a) Fonctions sur les Hist

**TYPE HistDiscret** ( $u, T$ ) :  $\langle$  { **Instant** ( $u$ ) }, **Chronique** ( $u, T$ )  $\rangle$

{  $\langle D, C \rangle = HD$  étant de type **HistDiscret** ( $u, T$ ) :

$\text{DomT}(HD) = D$ ;  $\text{ChronEff}(HD) = C$ ;

$VS(H, I) = \text{si } I \in \text{DomEff}(HD) \text{ alors } VS(C, I) \text{ sinon Nil}$  }

**TYPE HistEscalier** ( $u, T$ ) :  $\langle$  { **Instant** ( $u$ ) }, **Chronique** ( $u, T$ )  $\rangle$

{  $\langle D, C \rangle = HE$  étant de type **HistEscalier** ( $u, T$ ) :

$\text{DomT}(HE) = D$ ;  $\text{ChronEff}(HE) = C$ ;

en posant  $IC = I\_Chr(C)$ , si  $I$  précède l'instant du premier instantané de  $IC$ ,  $VS(HE, I) = Nil$ . Sinon,  $Z$  étant l'instantané de  $IC$  d'instant égal ou directement antérieur à  $I$ ,  $VS(HE, I) = VS(Z)$  }

**TYPE Interpolation** ( $u, T$ ) : **Instant** ( $u, T$ ), **Chronique** ( $u, T$ )  $\longrightarrow T$

{ *fonction d'interpolation temporelle* }

**TYPE HistInterpolé** ( $u, T$ ) :  $\langle$  { **Instant** ( $u$ ) }, **Chronique** ( $u, T$ ), **Interpolation** ( $u, T$ )  $\rangle$

{  $\langle D, C, FI \rangle = HI$  étant de type **HistInterpolé** ( $u, T$ ) :

$\text{DomT}(HI) = D$ ;  $\text{ChronEff}(HI) = C$ ;

$VS(HI, I) = \text{si } I \in \text{DomEff}(HI) \text{ alors } VS(C, I) \text{ sinon } FI(I, C)$  }

(b) Sous-types de Hist

FIG. 3.6 – Historiques en compréhension : le type **Hist**

- Les types `L_chronique`, `X_chronique` et `D_chronique` se distinguent par le type des instantanés composant la chronique (Cf. figure 3.7a). La fonction `L_Chr` (respectivement `X_Chr` et `D_Chr`) construit la représentation en extension d'un historique sous forme d'une `L_Chronique` (respectivement `X_chronique` et `D_Chronique`) (Cf. figure 3.7b). En particulier ces fonctions permettent de passer d'une représentation d'une chronique à une autre<sup>4</sup>.

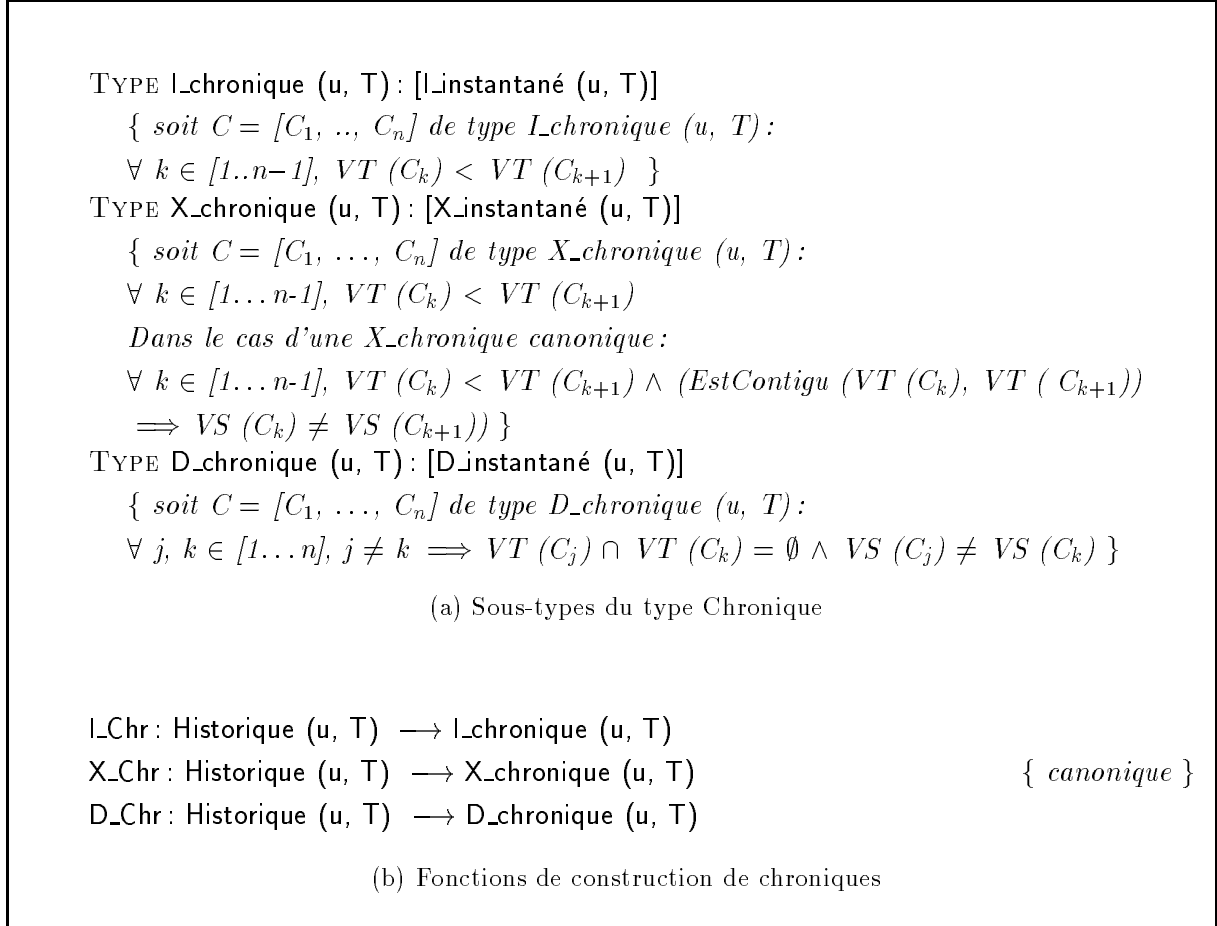


FIG. 3.7 – Fonctions et sous-types de Chronique

## 3.2 Opérations de consultation

Le modèle comporte un ensemble d'opérations de haut niveau sur les historiques : elles permettent de raisonner sur les historiques indépendamment de leur représentation. Ces opérations issues de divers contextes ont été validées au fur et à mesure de l'étude et de la classification des requêtes les plus significatives [FCS96]. Nous illustrons ici deux types d'opérations : des extensions de l'algèbre relationnelle adaptées aux historiques et des itérateurs sur les séquences.

<sup>4</sup> La conversion d'une `L_chronique` en une `D_chronique` (coalescing) est étudiée dans [BSS96].

Les requêtes portent sur l'exemple Oplate. Le fonctionnement de cette entreprise est décrit dans l'annexe A et la section A.7 comporte la modélisation des entités en TEMPOS. Les requêtes sont exprimées dans le langage OQL [ADF<sup>+</sup>94] étendu par les fonctions de TEMPOS<sup>5</sup>. L'expression de chaque requête est précédée de la formulation du type du résultat.

### 3.2.1 Projection et restriction temporelle

La projection d'un historique construit un historique de mêmes caractéristiques temporelles que l'historique donné. Le changement de type ne concerne que les valeurs structurales.  $E$  étant un  $n$ -uplet de type  $T$  dont les noms de champs forment un ensemble  $N$  et  $X$  étant un sous-ensemble de  $N \setminus E[X]$  dénote la projection de  $E$  selon  $X$ . De même  $h$  étant de type Historique  $(u, T)$  où  $T$  est un  $n$ -uplet de types  $\Gamma$  la projection de  $h$  selon les noms  $X \setminus \Gamma$  notée  $h[X]$  est l'historique déduit de  $h$  en projetant chacun de ses instantanés selon  $X$ . Par ailleurs les fonctions  $DomT$  et  $DomS$  (Cf. figure 3.5b) sont des projections particulières du fait que le résultat n'est pas un historique.

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```
{ type du resultat : { <numero : string, dateach : instant, ent : { <string, real> } } }
SELECT TUPLE (numero : c.lmmat, dateach : c.DateAchat, ent : DomS(c.Entretien))
FROM c IN LesCamions
```

La *restriction temporelle* d'un historique  $h$  selon une propriété  $P \setminus \Gamma$  notée  $h \setminus [P]$  est une chronique dont les instantanés sont ceux de  $h$  vérifiant  $P$ . Nous particularisons ici deux restrictions temporelles (Cf. figure 3.8a) :  $h \setminus [si] P$  est la chronique formée des  $L$ -instantanés de  $h$  dont les valeurs structurales vérifient  $P$  ;  $h \setminus [en] F$  est la chronique formée des  $L$ -instantanés de  $h$  dont l'instant appartient à  $F$ .

Nous particularisons deux compositions des opérations de projection et de restriction : **LesInstants** et **LesValeurs**. **LesInstants**  $(h, P)$  (respectivement **LesValeurs**  $(h, P)$ ) est l'ensemble des instants (respectivement des valeurs) des instantanés de  $h$  dont la valeur structurale vérifie  $P$  (Cf. figure 3.8b).

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```
{ type du resultat : { <immat : string, ent : Chronique (mois, tuple(string, real))> } }
SELECT TUPLE (immat : c.lmmat,
              ent : c.Entretien [si]  $\lambda v \bullet v.Nature \neq 'Vidange'$ )
FROM c IN LesCamions
```

---

5. Les notations utilisées sont décrites au début du document

TYPE Prédicat (T) : (T  $\rightarrow$  booléen)

- $\lceil \_ \rceil$  : Historique (u, T), Prédicat (Instantané (u, T))  $\rightarrow$  Chronique (u, T)  
 $\{ h \lceil P = \{ \langle I, v \rangle \mid \langle I, v \rangle \in_i h \wedge P(\langle I, v \rangle) \} \}$
- $\lceil_{si} \_ \rceil$  : Historique (u, T), Prédicat (T)  $\rightarrow$  Chronique (u, T)  
 $\{ h \lceil_{si} F = \{ \langle I, v \rangle \mid \langle I, v \rangle \in_i h \wedge P(v) \} \}$
- $\lceil_{en} \_ \rceil$  : Historique (u, T), {Instant (u)}  $\rightarrow$  Chronique (u, T)  
 $\{ h \lceil_{en} F = \{ \langle I, v \rangle \mid \langle I, v \rangle \in_i h \wedge I \in F \} \}$

(a) Restrictions temporelles d'historiques

LesInstants : Historique (u, T), Prédicat (T)  $\rightarrow$  { Instant (u) }

$$\{ LesInstants(H, P) = DomT(H \lceil_{si} P) \}$$

LesValeurs : Historique (u, T), Prédicat (T)  $\rightarrow$  { T }

$$\{ LesValeurs(H, P) = DomS(H \lceil_{si} P) \}$$

(b) Composition d'une projection et d'une restriction

FIG. 3.8 – *Projection et restriction temporelles*

-  $*_{\cap}$  : Historique (u, T1), Historique (u, T2)  $\rightarrow$  Chronique (u,  $\langle T1, T2 \rangle$ )

$$\{ h1 *_{\cap} h2 = \{ \langle I, \langle v1, v2 \rangle \rangle \mid \langle I, v1 \rangle \in_i h1 \wedge \langle I, v2 \rangle \in_i h2 \} \}$$

-  $*_{\cup}$  : Historique (u, T1), Historique (u, T2)  $\rightarrow$  Chronique (u,  $\langle T1, T2 \rangle$ )

$$\{ h1 *_{\cup} h2 = h1 *_{\cap} h2$$

$$\cup \{ \langle I, \langle v1, Nil \rangle \rangle \mid \langle I, v1 \rangle \in_i h1 \wedge I \in DomT(h1) \setminus DomT(h2) \}$$

$$\cup \{ \langle I, \langle Nil, v2 \rangle \rangle \mid \langle I, v2 \rangle \in_i h2 \wedge I \in DomT(h2) \setminus DomT(h1) \} \}$$

FIG. 3.9 – *Produits naturels temporels*

WHERE (c.Entretien  $\lceil_{si} \lambda v \bullet v.Nature \neq 'Vidange'$ )  $\neq \emptyset$

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

{ type du résultat: {<type : string, prix : Chronique (jour, real)>} }

```
SELECT TUPLE (type : b.Type,
              prix : b.Prix  $\lceil_{en} [ '@'1-1-1990'..'@'1-12-1996'$  ])
FROM b IN LesBouteilles
WHERE (b.Prix  $\lceil_{en} [ '@'1-1-1990'..'@'1-12-1996'$  ])  $\neq \emptyset$ 
```

Les requêtes **R.2** et **R.3** illustrent les situations où la même expression temporelle

sert à décrire la sélection et la restriction. Dans le premier cas l'expression porte sur les valeurs temporelles (utilisation du  $\lceil_{en}$ ) et dans le second cas elle porte sur les valeurs structurelles (utilisation du  $\lceil_{si}$ ). La requête suivante illustre une situation où les expressions temporelles spécifiant la restriction et la sélection sont indépendantes :

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

{ type du résultat: {<nom : string, dir : Chronique (jour, string)>} }

```
SELECT TUPLE (nom : c.Nom,
              dir : c.Directeur  $\lceil_{en} \text{LesInstants (c.Coordonnees, } \lambda a \bullet a.adresse = 'Paris')$ )
FROM c IN LesClients
WHERE DomT (c.Commandes)  $\cap \leq ( '@'31-12-1994'$  )
      { L'historique résultat est vide pour les clients n'ayant pas été à Paris. }
```

### 3.2.2 Produit naturel temporel

Le produit naturel temporel de deux historiques **h1** et **h2** de types **Historique (u, T1)** et **Historique (u, T2)** est une chronique de type **Chronique (u, <T1, T2>)** dont les instantanés sont formés à partir des instantanés donnés datés par le même instant. Nous distinguons deux opérations notées  $\ast_{\cap}$  (produit interne) et  $\ast_{\cup}$  (produit externe) selon que le domaine temporel du résultat est obtenu par intersection ou par union des domaines temporels des données (Cf. figure 3.9).

**R.5** *Quand les bouteilles de type "PlusSoif" ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type "Zébu" ?*

{ type du résultat: {Instant (jour)} }

```
SELECT LesInstants ((p.Production  $\ast_{\cap}$  z.Production),  $\lambda \langle pp, pz \rangle \bullet pp > pz$ )
FROM p IN LesBouteilles, z IN LesBouteilles
WHERE p.Type = 'PlusSoif' and z.Type = 'Zébu'
```



**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

L'interprétation de la requête formulée ici ne retient que les instantanés datés par les instants auxquels la production est connue (valeur non Nil) et auxquels le type de bouteille est en vente (valeur non Nil de l'attribut `prix`) que son prix soit connue ou non.

```
{ type du résultat: { <type: string, prixprod: Chronique (jour, <integer, real>) > } }
SELECT TUPLE (type: b.Type,
              prixprod: ((b.Production [si Est_non_Nil) *∩(b.Prix [si Est_non_Nil))
                        [en ['1/1/1997', '31/12/1997'])
FROM b IN Les Bouteilles
```

### 3.2.3 Itérateurs

La représentation en extension des historiques sous forme de chroniques permet de leur appliquer des itérateurs généraux définis sur les séquences [SFLM93]. Ceux-ci sont rappelés dans l'annexe C.

La fonction **Application** applique une fonction  $\Gamma$ élément par élément à tous les éléments d'une séquence. La fonction **Sélection** extrait d'une séquence tous les éléments vérifiant une propriété donnée. La fonction **Agrégation** applique une opération binaire de manière cumulative à tous les éléments d'une séquence à partir d'une valeur de base initiale.

Les fonctions **LesCouples**  $\Gamma$  **LeDébut** et **LaFin** permettent de formuler les requêtes impliquant un raisonnement sur la succession dans le temps en les appliquant à la représentation en extension des historiques sous forme de `L_chroniques` ou de `X_chroniques`. La fonction **LesCouples** construit les couples consécutifs d'une séquence. Les fonctions **LeDébut** et **LaFin** sont spécifiées par rapport au découpage d'une séquence en deux parties séparées par le premier élément (de gauche à droite) vérifiant une propriété donnée: **LeDébut** fournit les éléments de la séquence situés avant l'élément de séparation et **LaFin** fournit ceux situés après (y compris l'élément de séparation).

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?*

```
{ type du résultat: integer }
SELECT Agrégation (L_Chr (b.Production [en LesInstants (b.Prix,  $\lambda x \bullet x > 5$ )),
                  0,  $\lambda acc, i \bullet acc + VS (i)$ )
FROM b IN LesBouteilles
WHERE b.Type = 'PlusSoif'
```

La fonction **Agrégation** réalise le cumul `acc` de la production avec la valeur initiale 0 et en accumulant les valeurs structurelles de chacun des `L_instantanés` `i`.

**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

```
{ type du résultat: X_chronique (jour, tuple(string, real)) }
SELECT LaFin (c.Entretien, λx • VS (x).Nature = 'Vidange')
FROM c in LesCamions
WHERE c.Immat = '735 AOC 38'
```

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client "Alimentation du maquis" juste après qu'il ait quitté Propriano ?*

```
{ type du résultat: [string] }
SELECT Application (
    Sélection (LesCouples (X_Hist (c.Coordonnees)),
        λ<i1, i2> • VS(i1).Adresse = 'Propriano' ∧ VS(i2).Adresse ≠ 'Propriano'),
    λ<i1, i2> • VS (i2.Adresse)
)
FROM c IN LesClients
WHERE c.Nom = 'Alimentation du maquis'
```

La requête est basée sur la sélection  $\Gamma$  dans l'historique des coordonnées  $\Gamma$  des couples consécutifs de  $X_{\text{instantanés}}$  dont la première adresse est Propriano et la seconde est différente de Propriano. La fonction `Application` permet d'obtenir les adresses attendues.

## 3.3 Opérations de mise à jour

### 3.3.1 Mise à jour des historiques

Les opérations de mise à jour sont de différentes natures : ajout  $\Gamma$  modification ou suppression d'une valeur. Ces opérations peuvent concerner le domaine temporel et/ou la chronique. Nous présentons ici les différents cas possibles :

- Ajout d'un instantané  $\langle i, v \rangle$  :
  - $i \in \text{DomEff}$  : dans ce cas il s'agit d'une correction de la valeur structurelle de l'instantané existant à l'instant  $i$ .
  - $i \in \text{DomPot}$  : il s'agit de l'ajout de l'instantané  $\langle i, v \rangle$  à la chronique ; le domaine temporel reste inchangé (Cf. cas 1 de la figure 3.10).
  - $i \notin \text{DomT}$  : ici  $\Gamma$  l'ajout de l'instantané ajoute également  $i$  au domaine temporel. L'opération peut conduire à une valeur isolée ou non selon que  $i$  jouxte le domaine temporel ou non. Pour éviter de laisser une valeur isolée il est possible de compléter le domaine temporel à droite et/ou à gauche du point d'insertion  $\Gamma$  comme le montre le deuxième cas de la figure 3.10.

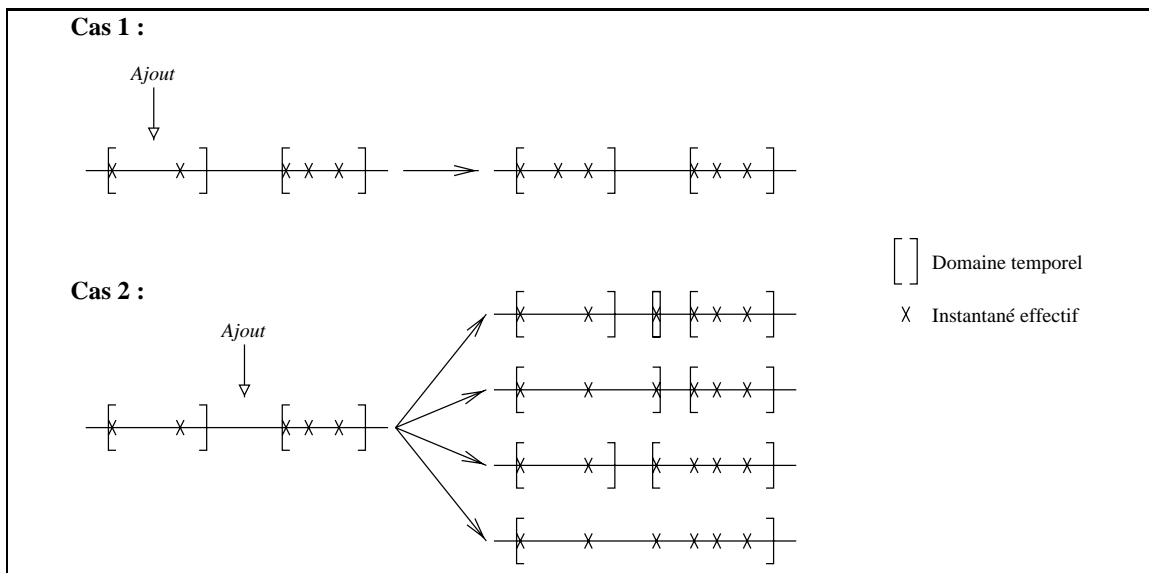


FIG. 3.10 – Ajout d'un instantané à un historique en compréhension

- Suppression d'un instantané  $\langle i, v \rangle$  : l'instantané est supprimé de la chronique. La question qui se pose pour cette opération est de savoir si :
  - $i$  reste dans DomT et devient un point potentiel (cas 1 de la figure 3.11).
  - $i$  est également supprimé de DomT (cas 2 de la figure 3.11).

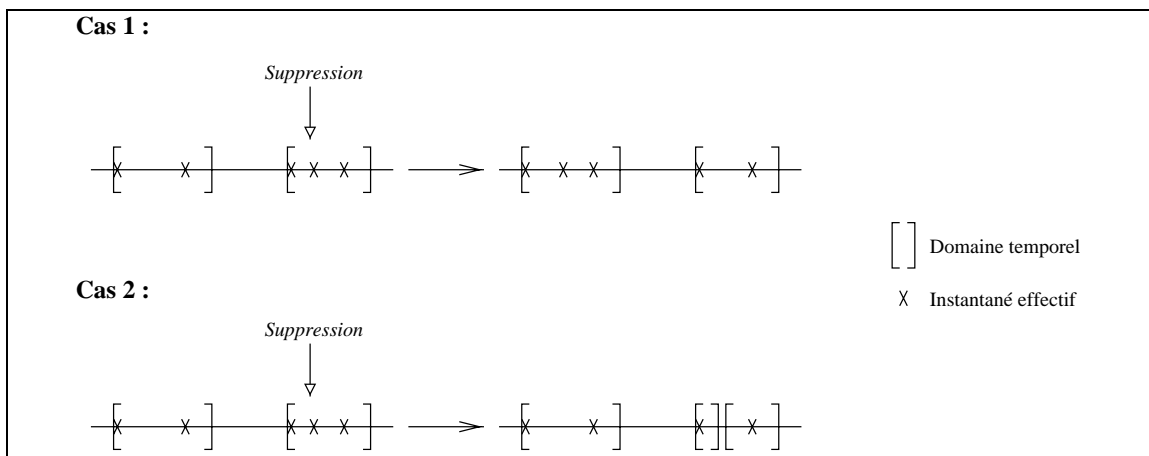


FIG. 3.11 – Suppression d'un instantané d'un historique en compréhension

### 3.3.2 Opérations élémentaires

Nous définissons ici les opérations élémentaires de mises à jour qui s'appliquent sur le type **Chronique** et sur le type **Hist**.

Les opérations sur le type **Chronique** sont définies dans la figure 3.12. Elles correspondent à l'ajout ou la suppression d'un instantané à une chronique. Pour la suppression

d'un instantané. La donnée de l'instant est suffisante. Ces opérations sont étendues à l'ajout (ou la suppression) d'un ensemble d'instants.

La figure 3.13 présente les opérations relatives au type **Hist**. Ceux-ci étant composés d'une chronique et d'un domaine temporel il y a des opérations sur l'un ou sur l'autre: ajout ( $+T$ ) ou suppression ( $-T$ ) d'instants au domaine temporel (ajout ( $+C$ ) ou suppression ( $-C$ ) d'instants de la chronique. Ces fonctions sont généralisées à un ensemble d'instants ou à un ensemble d'instants selon le cas.

La description de ces fonctions appelle quelques remarques :

- Pour définir les opérations nous raisonnons sur le couple  $\langle C, P \rangle$  où  $C$  est la chronique (qui fixe le domaine effectif) et  $P$  le domaine potentiel de l'historique considéré.
- Le fait de supprimer un instantané de la chronique fait passer un point effectif du domaine en un point potentiel. Le cas échéant la suppression du point potentiel doit se faire par suppression d'un instant du domaine temporel.
- Nous avons appelé *correction* l'opération qui modifie la valeur structurelle d'un instantané existant.

Soient  $C$  une chronique  $\Gamma$  et  $\langle i, v \rangle$  un instantané.

- $C + \langle i, v \rangle =$   
 $\{ \langle i', v' \rangle \mid \langle i', v' \rangle \in C \wedge i' \neq i \} \cup \{ \langle i, v \rangle \}$
- $C - i =$   
 $\{ \langle i', v' \rangle \mid \langle i', v' \rangle \in C \wedge i' \neq i \}$

FIG. 3.12 – Opérations de construction sur le type Chronique

Soient  $C = \text{ChronEff}(H)$  et  $P = \text{DomPot}(H) \Gamma$

$H'$  le résultat de l'opération et  $C' = \text{ChronEff}(H') \Gamma P' = \text{DomPot}(H')$ .

Opérations portant sur le domaine temporel :

- $H +_{\top} i : \langle C', P' \rangle =$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomT}(H) : \langle C, P \rangle$   
 $\Leftrightarrow i \notin \text{DomT}(H) : \langle C, P + i \rangle$
- $H -_{\top} i : \langle C', P' \rangle =$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomPot}(H) : \langle C, P - i \rangle$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomEff}(H) : \langle C - i, P \rangle$   
 $\Leftrightarrow i \notin \text{DomT}(H) : \langle C, P \rangle$

Opérations portant sur la chronique :

- $H +_C \langle i, v \rangle : \langle C', P' \rangle =$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomEff}(H) : \langle C + \langle i, v \rangle, P \rangle \{ \text{correction} \}$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomPot}(H) : \langle C + \langle i, v \rangle, P - i \rangle$   
 $\Leftrightarrow i \notin \text{DomT}(H) : \langle C + \langle i, v \rangle, P \rangle$
- $H -_C i : \langle C', P' \rangle =$   
 $\Leftrightarrow i \in \text{DomEff}(H) : \langle C - i, P + i \rangle$   
 $\Leftrightarrow i \notin \text{DomEff}(H) : \langle C, P \rangle$

FIG. 3.13 – Opérations de construction sur le type Hist

### 3.3.3 Opérations sur les attributs historiques

Nous définissons maintenant les opérations de mises à jour sur les attributs historiques. Nous définissons deux séries d'opérateurs suivant qu'il s'agit d'un attribut historique régulier (Cf. figure 3.14) ou d'un historique discret en escalier ou interpolé (Cf. figure 3.15).

Les opérations sur les historiques réguliers ne peuvent affecter directement le domaine temporel. Inversement les opérations sur les historiques discrets en escalier ou interpolés peuvent affecter le domaine temporel ou la chronique effective.

Dans tous les cas il s'agit d'opérations pour :

- Ajout d'un instantané
- Correction de la valeur structurelle d'un instantané
- Correction de la valeur temporelle d'un instantané
- Suppression d'un instantané
- Extension du domaine temporel
- Restriction du domaine temporel

Insérer  $\langle i, v \rangle$  dans  $H$

{ Ajoute l'instantané  $\langle i, v \rangle$  à  $H$  }

Précondition :  $i \notin \text{DomEff}(H)$

$H \longleftarrow H +_C \langle i, v \rangle$

Modifier  $\langle i, v' \rangle$  dans  $H$

{ Modifie la valeur structurelle associée à l'instant  $i$  dans  $H$  }

Précondition :  $i \in \text{DomEff}(H)$

$H \longleftarrow H +_C \langle i, v' \rangle$

Modifier  $i'$  par  $i$  dans  $H$

{ Modifie l'instantané  $\langle i, v \rangle$  de  $H$  en  $\langle i', v \rangle$  }

Préconditions :  $i \in \text{DomEff}(H)$ ,  $i' \notin \text{DomEff}(H)$

$v \longleftarrow VS(H, i)$

$H \longleftarrow (H -_T i) \{ \text{Supprimer } i \text{ dans } H \}$

$H \longleftarrow H +_C \langle i', v \rangle \{ \text{Ajouter } \langle i, v \rangle \text{ dans } H \}$

Supprimer  $i$  dans  $H$

{ Supprime l'instantané  $\langle i, v \rangle$  de  $H$  }

Précondition :  $i \in \text{DomEff}(H)$

$H \longleftarrow H -_T i$

FIG. 3.14 – Opérations de mise à jour des attributs historiques réguliers

Insérer  $\langle i, v \rangle$  dans  $H$  [avec extension à gauche—à droite—des deux côtés]

{ Ajoute l'instantané  $\langle i, v \rangle$  à  $H$  }

Précondition :  $i \notin \text{DomT}(H)$

$H \leftarrow H +_C \langle i, v \rangle$

Si extension à gauche ou des deux côtés Alors

{ compléter  $\text{DomT}$  à gauche }

Si extension à droite ou des deux côtés Alors

{ compléter  $\text{DomT}$  à droite }

Modifier  $\langle i, v' \rangle$  dans  $H$

{ Modifie la valeur structurelle associée à l'instant  $i$  dans  $H$  }

Précondition :  $i \in \text{DomEff}(H)$

$H \leftarrow H +_C \langle i, v' \rangle$

Modifier  $i'$  par  $i$  dans  $H$

{ Modifie l'instantané  $\langle i, v \rangle$  de  $H$  en  $\langle i', v \rangle$  }

Précondition :  $i \in \text{DomEff}(H)$ ,  $i' \in \text{DomPot}(H)$

$H \leftarrow (H -_C i) +_C \langle i', v \rangle$

Supprimer  $i$  dans  $H$  [avec suppression dans le domaine temporel]

{ Supprime l'instantané  $\langle i, v \rangle$  de  $H$  }

Précondition :  $i \in \text{DomEff}(H)$

Si suppression dans le domaine temporel Alors

$H \leftarrow H -_T i$

Sinon

$H \leftarrow H -_C i$

FIG. 3.15 – Opérations de mise à jour des attributs historiques discrets, en escalier ou interpolés





# Chapitre 4

## Tempos : Expérimentation

Nous présentons dans ce chapitre le prototype du modèle TEMPOS en cours de réalisation [Can96cΓCan96bΓCan96aΓDum96ΓCD97] au dessus du SGBD O<sub>2</sub> [Tec95ΓAC93].

### 4.1 Architecture

Le prototype du modèle TEMPOS est constitué d'une bibliothèque de classes pour le SGBD O<sub>2</sub> et d'un préprocesseur (Cf. figure 4.1).

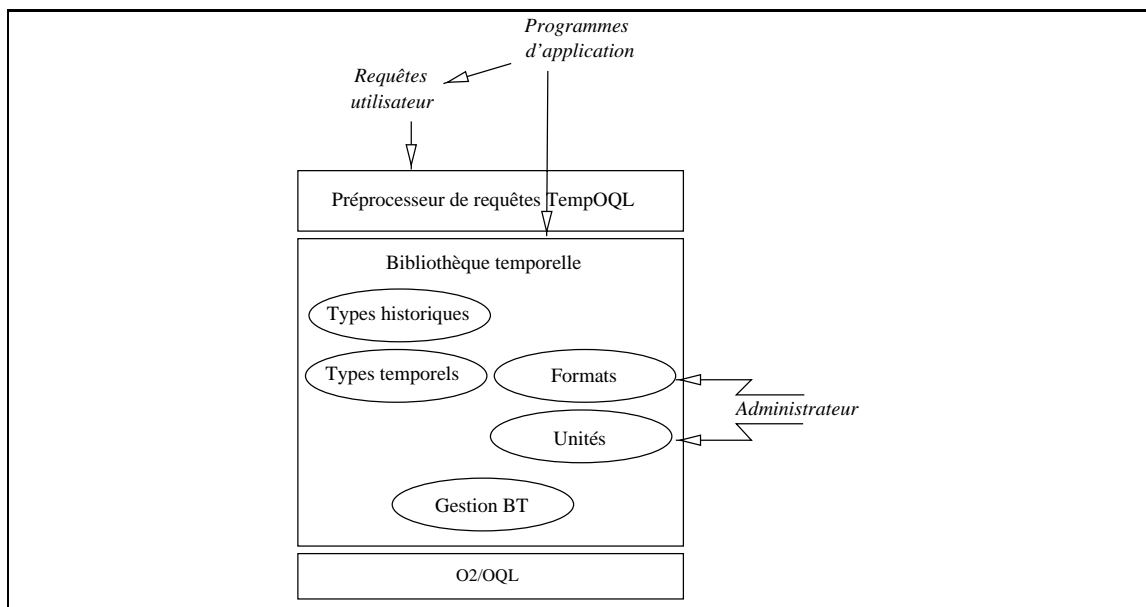


FIG. 4.1 – Architecture du prototype

La bibliothèque temporelle comporte cinq groupes de classes pour la description des unités de temps et des formats. Les types temporels, les types historiques et enfin pour le fonctionnement général de la bibliothèque.

Les quatre premiers groupes sont détaillées dans les sections suivantes. Les classes relatives au fonctionnement de la bibliothèque permettent de :

- Effectuer les différentes initialisations nécessaires
- Faire des traitements nécessaires à toutes les autres classes
- Gérer les erreurs.

Quant au préprocesseur il transforme les requêtes TempOQL en OQL standard. TempOQL permet la manipulation de valeurs temporelles au même titre que les autres types de base. Pour cela il utilise évidemment les fonctionnalités offertes par la bibliothèque temporelle.

Les fonctionnalités temporelles sont accessibles par les programmes d'application au travers de requêtes temporelle en TempOQL ou bien par des appels directs de méthodes en O<sub>2</sub>C par exemple.

**Remarque :** Les classes relatives aux formats et le préprocesseur TempOQL ont été développés par Marlon Dumas pendant son stage de magistère [Dum96].

## 4.2 Représentation du temps

### 4.2.1 Types temporels

Un premier groupe de classes correspond aux types des valeurs temporelles (durées, instants et séquences d'instant) (Cf. figure 4.2).

A chaque type temporel défini dans le modèle TEMPOS est associé une classe. Pour chacune d'elles les méthodes définies correspondent aux opérations spécifiées pour son type. Cette partie du prototype n'est pas modifiable par l'administrateur.

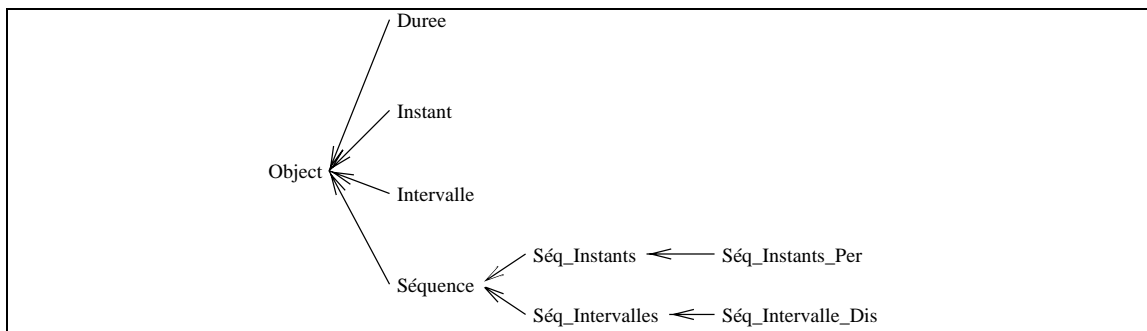


FIG. 4.2 – Classes relatives aux types temporels

## 4.2.2 Unités

Un premier groupe de classes concerne la description des unités d'observation du temps des couples d'unités (pour ce qui est lié aux conversions entre unités) et des systèmes d'unités (Cf. figure 4.3) :

- La classe **UT** correspond à la description de chaque unité temporelle : son nom son origine etc. Les unités régulières sont isolées dans une sous-classe particulière **UT\_Reg**. Ces deux classes sont virtuelles ; chaque unité correspond à une sous-classe (par exemple **UT\_Jour**). Sont rattachées à ces classes les méthodes spécifiques à chaque unité (comme par exemple celle permettant de savoir si une année est bissextile) et des méthodes générales (comme la relation d'ordre  $\prec$  sur les unités).
- La classe **CUT** (resp. **CUT\_Reg**) correspond aux couples d'unités (resp. réguliers). Il s'agit également de classes virtuelles chaque couple particulier demandant une classe particulière (par exemple **CUT\_An\_Jour**). Les méthodes de ces classes décrivent les fonctions d'approximation et d'expansion (Cf. section 2.1.3).
- la classe **SUT** (resp. **SUT\_Reg**) correspond aux systèmes d'unités (resp. réguliers). Les méthodes de ces classes décrivent les fonctions de réduction d'une forme multigranulaire en une forme canonique et les fonctions de décomposition d'une forme canonique en une forme multigranulaire (Cf. section 2.3.2).

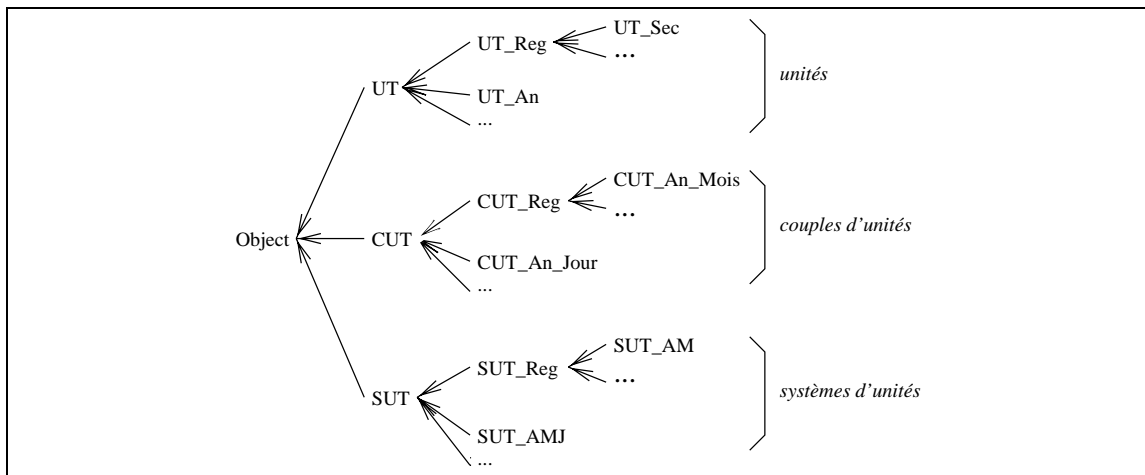


FIG. 4.3 – Classes relatives à la description des unités temporelles

Lors de l'initialisation de la bibliothèque il est nécessaire de créer une instance de chaque classe correspondant à une unité (par exemple **UT\_Sec** ... **UT\_An**) à un couple d'unités (par exemple **CUT\_An\_Mois**) ou à un système d'unités (par exemple **SUT\_AMJ**). Un nom (racine de persistance) est défini pour chacune de ses instances. Ainsi toutes les

opérations sur les unités temporelles sont en fait des appels de méthodes de ces objets nommés.

### 4.2.3 Formats

Un troisième groupe de classes de la bibliothèque contient les classes relatives à la gestion des formats et des systèmes de formats.

Les notions de format et de système de formats introduites dans la section ?? sont modélisées respectivement par les types *format* et *système de formats*. A chaque type temporel correspond un sous-type de *format* et un sous-type de *système de formats*. Ainsi il existe 5 sous-types de *format* correspondant aux formats d'instant, aux formats de durées, de durées signées, de durées relatives et de durées relatives régulières.

A chacun de ces types correspond une classe. La hiérarchie de ces classes est calquée sur celle des classes associées aux types temporels de base comme le montre la figure 4.4. Ces classes possèdent entre autres les méthodes pour construire une valeur temporelle à partir d'une forme externe et vice-versa.

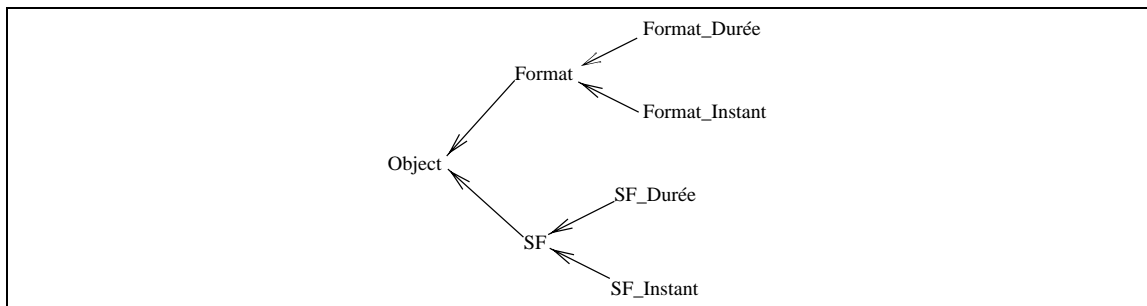


FIG. 4.4 – Classes relatives aux formats

## 4.3 Historiques

Les classes relatives aux historiques sont en cours d'implantation. Nous présentons ici la structure générale retenue et les principaux problèmes d'implantation des historiques.

### 4.3.1 Types historiques

Comme pour les types temporels une classe est créée pour chaque type de TEMPOS. La hiérarchie obtenue est illustrée par la figure 4.5.

Les fonctions définies sur les types historiques sont implantées par des méthodes dans les classes correspondantes.

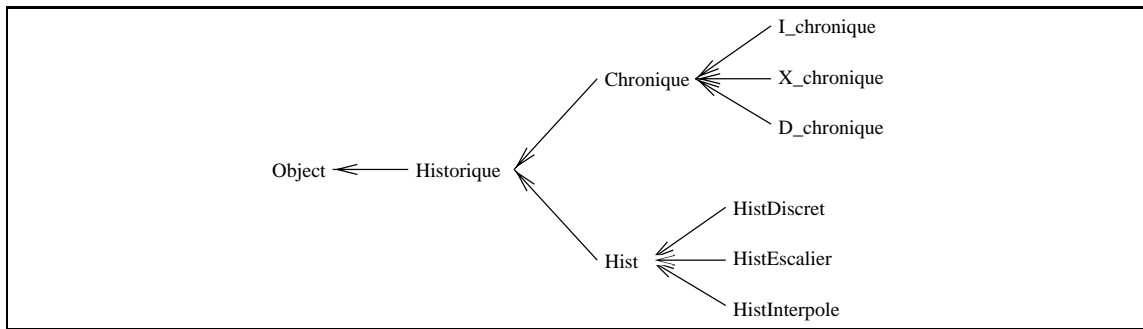


FIG. 4.5 – *Classes relatives aux types historiques*

### 4.3.2 Problèmes d’implantation

Plusieurs problèmes se posent pour l’implantation des types historiques. Certains d’entre eux sont dus au SGBDΓd’autres à TEMPOS :

- $O_2$  ne gère pas les classes paramétréesΓor les types historiques correspondent à des types paramétrés par l’unité d’observation et la valeur structurelle.

En ce qui concerne l’unité d’observationΓcela ne pose pas de problème car l’unité d’observation est traitée comme un attribut des historiquesΓcomme cela a été fait pour les types temporels.

Par contreΓpour la valeur structurelleΓil est important que le type soit réellement paramétré. Cela permet les appels successifs de méthodesΓet en particulier sur les types des valeurs structurelles que l’on peut obtenir à partir des manipulations sur les historiques. Pour résoudre ce problèmeΓil faut utiliser l’héritage comme le montre la figure 4.6. Par exempleΓdans la classe `HistDiscret`Γle type de la valeur structurelle est `Object`Γet dans la sous classe `HD_Commande`Γqui correspond à un historique discret de commandesΓle type de la valeur structurelle est `Commande`.

Ceci ne résoud pas le problème pour les opérations (comme le produit naturel) qui créent dynamiquement des historiques dont le nouveau type ne correspond généralement pas à une classe existante.

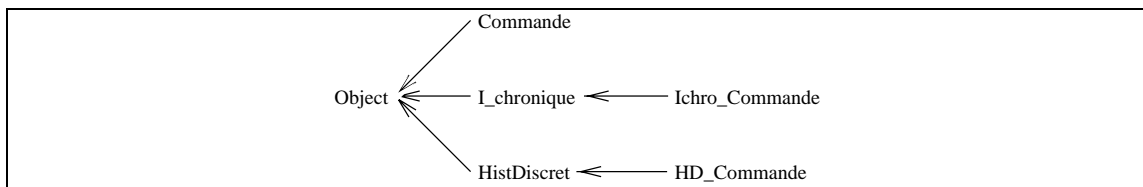


FIG. 4.6 – *Exemple d’utilisation de l’héritage pour les classes paramétrées*

- Les opérations de restriction temporelles sur les historiques proposées par TEMPOS ont un prédicat en paramètre. Celui-ci doit être exprimé par une lambda expression. Pour

ne pas implanter un interpréteur de lambda expressions Il faut mettre en évidence la fonctions les plus courantes et restreindre les prédicats possibles à une liste prédéfinie. Parmi les prédicats les plus courants On trouve ceux définis dans les langages comme SQL c'est à dire l'égalité la relation d'ordre.

De même pour l'utilisation des fonctions générales sur les séquences Il faut passer des fonctions en paramètre. Là encore Il faut trouver celles qui sont les plus utilisées. Par exemple pour les réductions cela correspond aux opérateurs `min` `max` etc. de SQL.

## 4.4 Paramétrisation de la bibliothèque temporelle

La modélisation du temps proposée par TEMPOS est basée sur un système extensible d'unités d'observation du temps. Cette extensibilité est préservée par le prototype et les sections suivantes montrent comment définir des nouvelles unités et de nouveaux formats.

Pour cela Il faut intervenir dans la bibliothèque temporelle et définir de nouvelles classes. Ce n'est pas un travail très convivial et très simple aussi le développement d'outils d'administration doit être étudié.

### 4.4.1 Définition de nouvelles unités

Pour rajouter de nouvelles unités l'utilisateur doit fournir les caractéristiques propres à l'unité ajoutée et les fonctions de conversions avec les unités qui lui sont comparables. Pour cela Il doit :

- Décrire les caractéristiques propres à la nouvelle unité en créant une sous-classe de `UT`.
- Donner les fonctions de conversions entre cette nouvelle unité et les unités auxquelles elle est comparable en créant des sous-classes de `CUT` et en y redéfinissant les méthodes liées à l'expansion et à l'approximation. Les méthodes correspondant aux conversions peuvent ainsi être implantées de la façon la plus efficace possible en fonction des caractéristiques propres à chaque couple d'unités.

Les unités et les types temporels étant clairement séparés une unité rajoutée est directement utilisable pour l'expression d'une valeur temporelle et ne modifie en rien l'expression des valeurs n'utilisant pas cette nouvelle unité.

### 4.4.2 Définition de nouveaux systèmes d'unités

Contrairement à la création de nouvelles unités l'utilisateur peut définir de nouveaux systèmes sans créer de classe. Il suffit de créer une instance de la classe `SUT`. Cela peut donc être fait dynamiquement par une application. C'est un point particulièrement important car les systèmes d'unités peuvent être extrêmement nombreux à partir des unités définies.

Lors de la création d'une instance il suffit d'affecter à un attribut donné la liste des unités qui composent le nouveau système. Dans ce cas les fonctions de réduction et de décomposition utilisées pour passer des formes multigranulaires à la forme irréductible utilise un algorithme général prédéfini au niveau de la classe `SUT`.

Pour optimiser les calculs l'utilisateur a la possibilité de définir une sous classe spécifique à un système d'unités donné et il peut alors redéfinir les méthodes liées à la réduction et à la décomposition.

Ainsi bien que l'ensemble des unités et des systèmes d'unités soit extensible les performances ne sont pas dégradées puisqu'il est possible d'utiliser des algorithmes adaptés à chaque cas.

### 4.4.3 Définition de nouveaux formats

Enfin l'utilisateur peut créer de nouveaux formats et de nouveaux système de formats.

Dans ce cas la création se fait dynamiquement par les applications. Pour les formats il suffit d'indiquer le système d'unités concerné la nature des valeurs (textuelle numérique (chiffres arabes ou romains)) et la permutation à utiliser (Cf. section 2.5.2).

Pour la création des systèmes d'unités le principe est le même mais la tâche peut être plus complexe car l'utilisateur doit vérifier que le système qu'il crée (ou qu'il modifie) ne comporte pas des formats incompatibles (comme le format européen et le format américain de dates).

## 4.5 Préprocesseur TempOQL

### 4.5.1 Réalisation du préprocesseur

Le langage TempOQL a été implanté au dessus de  $O_2/OQL$  au moyen d'un préprocesseur qui traduit des requêtes **TempOQL** vers des requêtes OQL enrichi des classes et noms persistants fournis par la bibliothèque temporelle. Tout comme le langage TempOQL le préprocesseur est paramétré par des systèmes de formats qui déterminent l'interprétation des constantes temporelles de base rencontrées dans les requêtes.

L'analyseur lexico-syntaxique du préprocesseur a été implanté en C à l'aide des générateurs d'analyseurs lexicaux et syntaxiques traditionnels *Lex* et *Yacc* [ASU86]. L'analyseur sémantique de son côté a dû être implanté en  $O_2C$  du fait des appels aux méthodes de la bibliothèque temporelle. L'intégration de ces deux composants a été faite en utilisant l'*interface C pour  $O_2$*  [Tec95] dans un premier temps puis pour des questions de performance en important l'analyseur syntaxique dans  $O_2$  en tant qu'une bibliothèque C.

L'extension des opérateurs arithmétiques et booléens aux valeurs temporelles suppose une connaissance du type des expressions manipulées. L'analyseur sémantique du pré-



processeur comporte donc un sous-système d'inférence de type. Ce sous-système a été développé grâce aux fonctionnalités du *Méta-Schéma* de  $O_2$  [Tec95].

Le préprocesseur de requêtes est accessible soit en mode embarqué par l'intermédiaire d'une fonction qui traduit une chaîne de caractères contenant une requête TempOQL en une autre contenant la requête OQL équivalente soit en mode interactif grâce à une application  $O_2$ . Cette application est constituée d'une boucle qui saisit des requêtes TempOQL les traduit en OQL à l'aide du préprocesseur et les soumet à l'interpréteur OQL du système  $O_2$ . L'application offre aussi un manuel en ligne décrivant les fonctionnalités propres au langage TempOQL et gère les préférences utilisateurs en ce qui concerne les systèmes de formats utilisés lors de l'interprétation des constantes temporelles.

## 4.5.2 Exemples d'utilisation de TempOQL

Nous décrivons maintenant des expressions TempOQL dans le cadre de l'application Oplate (Cf. annexe A) montrant quelques caractéristiques de TempOQL.

```
SELECT C.Immat
FROM C IN LesCamions
WHERE C.DateAchat BELONGS_TO ['1/6/1996'..'31/5/1997']
```

Cette requête sélectionne les numéros de plaques d'immatriculation des camions achetés entre le 1/6/1996 et le 31/5/1997. Elle illustre :

- La manipulation de constantes de type instant marquées par le symbole @ : '@'1/6/1996'.
- La construction d'un intervalle avec les symboles [ .. ].
- L'utilisation d'une fonction (BELONGS\_TO) entre un instant et un intervalle manipulée comme un opérateur OQL.

La requête OQL équivalente qui contient les appels à la bibliothèque temporelle est la suivante :

```
SELECT C.Immat
FROM C IN LesCamions
WHERE C.DateAchat > I.Appartient_X (Intervalle() > X.Cons_I_I (
    Instant() > I.Cons_FE (list(1996.0, 6.0, 1.0), SUT_AMJ),
    Instant() > I.Cons_FE (list(1997.0, 5.0, 31.0), SUT_AMJ)))
```

{ Les méthodes utilisées de la bibliothèque sont :

- *I.Appartient\_X*, prédicat qui indique si un instant appartient à un intervalle,
- *X.Cons\_I\_I*, qui construit un intervalle à partir de deux instants,
- *I.Cons\_FE*, qui construit un instant à partir de sa forme externe. }

*{ L'appel à Instant() et Intervalle() permet de créer des objets temporaires du type correspondant }*

La requête suivante illustre les conversions d'unités dans le cas des instants. L'opération de changement d'unité en TempOQL est noté !. La requête donne l'année d'achat du camion immatriculé 735 AOC 38 :

```
SELECT C.DateAchat ! Année  
FROM C IN LesCamions  
WHERE C.Immat = '735 AOC 38'
```

Sa traduction en OQL est :

```
SELECT C.DateAchat -> I_Conv (UT_An) -> X_Binf  
FROM C IN LesCamions  
WHERE C.Immat = '735 AOC 38'
```

*{ Les méthodes utilisées de la bibliothèque sont :*

- I\_Conv, qui convertit un instant dans une unité donnée (le résultat est un intervalle),*
- X\_Binf, qui retourne la borne inférieure d'un intervalle. }*



# Conclusion

## Bilan

Après un état de l'art dans le premier chapitre qui a introduit les principaux concepts relatifs au domaine des bases de données temporelles et qui a également présenté quelques travaux significatifs dans le domaine nous avons introduit le modèle TEMPOS.

Ce modèle est composé d'un modèle de représentation du temps et un modèle d'historiques. Pour la représentation du temps TEMPOS offre une vision multigranulaire basée sur le découpage du temps en unités d'observation du temps. Celles-ci unifie les concepts habituels de repères calendaires utilisés pour exprimer des dates et d'unités de temps utilisées pour la mesure de durées. La relation "est plus fine" entre les unités d'observation permet de définir toutes les fonctions relatives aux conversions. Ce système d'unités est extensible et l'utilisateur (ou l'administrateur) peut ajouter les unités spécifiques nécessaires à ses applications. Les types temporels proposés par TEMPOS sont très riches : des types simples comme les instants et les durées aux plus complexes comme les séquences d'instantanés et les calendriers. Ils sont tous munis de multiples opérations (constructeurs relations d'ordre prédicats etc.). Les types temporels sont indépendants des unités et les opérations entre valeurs de granularités différentes sont définies uniquement dans les cas valides.

En ce qui concerne le modèle d'historiques TEMPOS permet de fixer le statut d'évolution des attributs : constant fugitif ou historique. Les différents types d'historiques permettent une interprétation adaptée à la nature des phénomènes : discret en escalier interpolé. Les représentations en extension ou en intention permettent de stocker les valeurs significatives. Ces représentations sont basées sur les chroniques qui correspondent à des séquences d'instantanés. Les instantanés sont les valeurs estampillées des attributs. Les historiques sont indépendants des unités d'observation et les estampilles peuvent être de n'importe quelle granularité. La donnée d'un domaine temporel et éventuellement d'une fonction d'interpolation permet de déduire les valeurs de l'attribut entre deux valeurs saisies. La vision fonctionnelle des historiques permet de raisonner en faisant abstraction de la représentation utilisée.

Pour l'interrogation des historiques TEMPOS propose un jeu d'opérateurs de haut niveau issus de l'extension temporelle des opérateurs de l'algèbre relationnelle et des

fonctions générales de manipulation de séquences. Ces opérateurs sont définis indépendamment de la représentation des historiques. Ceci permet en particulier de choisir la représentation la plus adaptée à chaque requête ce qui donne un style d'expression uniforme pour toutes les requêtes.

L'expérimentation en cours au dessus du SGBD O<sub>2</sub> a déjà permis de valider de nombreux points du modèle TEMPOS. De même l'application de TEMPOS au cas des séries chronologiques a permis de montrer que le modèle peut répondre à des besoins précis des applications.

## Perspectives

Ce travail correspond à une première étape significative de l'axe "Bases de données temporelles" du projet STORM.

Aussi les poursuites envisageables sont nombreuses :

- Au niveau du modèle du temps :
  - Extension des instants (valeurs temporelles absolues) par la prise en compte d'instants relatifs (valeurs temporelles relatives). Il s'agit ici d'aller vers une représentation symbolique (et non plus numérique) du temps et d'intégrer la notion d'*événements temporels*. Des travaux dans ce sens ont déjà été menés dans le groupe STORM [Poi96[Fay97] pour intégrer des événements temporels dans les bases de données actives.
  - Une autre extension est la prise en compte des informations imprécises. Un fait n'est plus situé par un instant précis mais par une période floue : entre le 1<sup>er</sup> et le 15 juillet après le 1<sup>er</sup> juillet et avant le départ en vacances etc.
- Au niveau du modèle d'historiques :
  - Etendre le modèle pour prendre en compte les historiques d'objets ou de collections d'objets.
  - Etendre les opérateurs relatifs à l'interrogation des historiques. En particulier il est envisageable d'intégrer des opérateurs des logiques temporelles.
  - Etudier en détail le cas du bitemporel. Le temps de transaction répond à des besoins spécifiques en particulier pour l'audit des opérations effectuées sur une base de données. Son traitement n'est pas similaire à celui du temps de validité et des opérateurs spécifiques sont à définir.
  - Définir un langage de définition des données et un langage de manipulation des données. Pour les opérations déjà définies dans le modèle il faut masquer l'utilisation des lambda expressions pour les utilisateurs.

- Prendre en compte la gestion de contraintes d'intégrités temporelles. Les contraintes envisageables sont très nombreuses lorsque l'on garde l'historique des modifications. Les corrections effectuées dans des états passés de la base engendrent également de nouveaux problèmes. Des travaux ont déjà commencé dans ce sens dans le groupe STORM [DFG<sup>+</sup>96GD<sub>um</sub>97].
- Etudier les structures physiques et l'indexation des attributs historiques. L'historisation des attributs implique une augmentation du nombre d'informations à traiter il est vital pour un SGBD temporel de respecter un temps de réponse acceptable.
- Etudier l'optimisation des requêtes. L'implantation des opérateurs sur les historiques doit être optimisée en fonction des diverses représentation des chroniques.

Par rapport au prototype il est nécessaire de fournir des outils d'administration facilitant en particulier la définition de nouvelles unités et de nouveaux formats. La portabilité de l'implantation doit être étudiée avec l'objectif de réaliser un serveur temporel adaptable à d'autres SGBD.

Il est également nécessaire de confronter le modèle proposé à d'autres application afin de le valider et éventuellement de le compléter.

L'application aux Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) dans le cadre de coopérations entre l'axe temporel du projet STORM et d'autres équipes spécialisées dans les SIG ou les bases de données spatiales est à ce titre particulièrement prometteuse. De plus c'est le cadre idéal pour étudier les similarités éventuelles entre bases de données temporelles et bases de données spatiales que ce soit au niveau de la modélisation de la représentation ou de l'interrogation.

Enfin parmi les perspectives essentielles à la proposition du modèle TEMPOS il y a l'étude de l'impact de la dimension temporelle au niveau de la modélisation des applications. Il faut proposer des éléments permettant la conception et la spécification d'applications manipulant des données temporelles dans les méthodes classiques. Pour cela l'analyse faite dans la premier chapitre des notions clés du domaine est un point de départ intéressant.



# Annexe A

## Exemple : l'entreprise Oplate

Nous présentons ici une application qui sert à illustrer les différents points abordés au cours de ce document.

Dans un premier temps nous exposons le contexte de cet exemple et nous en donnons une modélisation. Il faut bien noter que cet exemple basé sur un cas réel a été simplifié pour que sa complexité ne vienne pas s'ajouter à celles des notions que nous voulons illustrer.

Ensuite nous donnons sa modélisation ainsi que l'expression de quelques requêtes significatives dans différents contextes : SGBD relationnels temporels (TSQL 2/TempSQL) ou non temporel (Oracle) / SGBD à objets temporel (TOOSQL) ou non temporel (O<sub>2</sub>) et enfin dans le modèle TEMPOS. Dans un premier temps la modélisation proposée est mono-temporelle (suivant le temps de validité). Une dernière section illustre rapidement le cas du bitemporel.

### A.1 Position du problème

Nous considérons le cas d'une usine d'exploitation d'une source qui produit des bouteilles d'eau minérale.

L'usine est installée sur le site d'une source et l'eau est immédiatement embouteillée sur une chaîne de production. Les bouteilles produites sont stockées sur place. L'usine livre elle-même ses clients à l'aide de ses propres camions.

La figure A.1 propose une modélisation OMT de cette application. Les attributs historisés sont marqués en italiques. Le lien indiqué entre **Source** et **Bouteille** n'est pas représenté par la suite car nous nous limitons à l'exploitation d'une seule source ; ce lien est implicite.



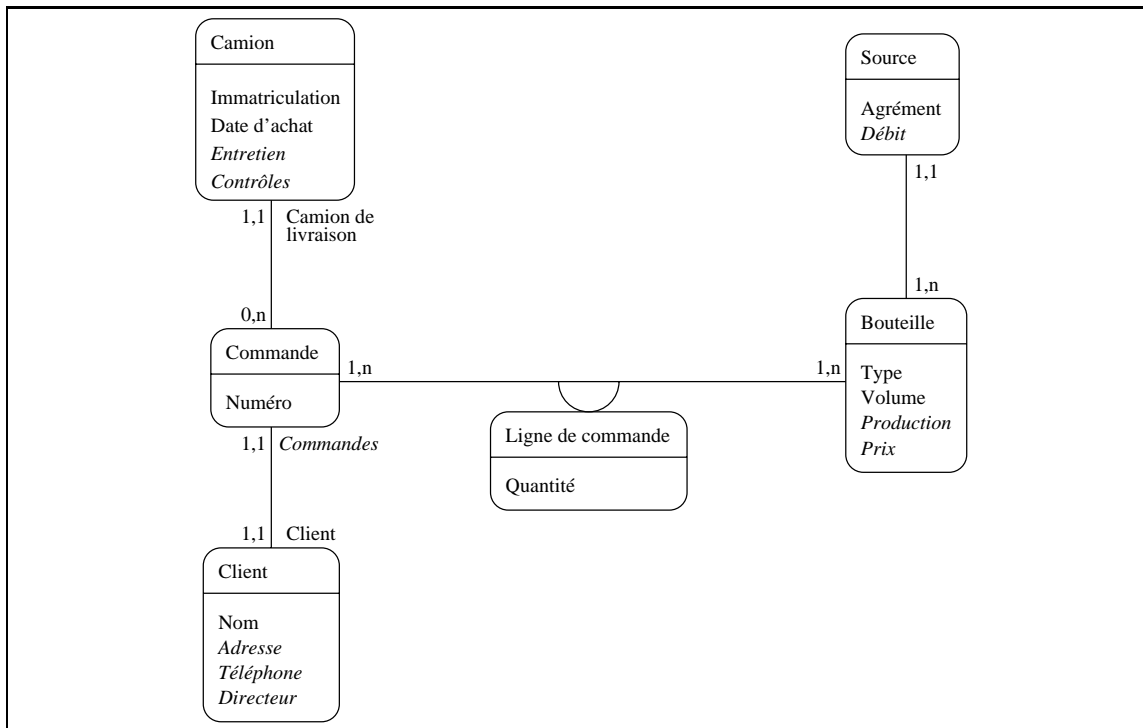


FIG. A.1 – Modélisation OMT

**Remarque :** Dans un contexte non-temporel les attributs historiques sont gérés explicitement par les applications en particulier au travers d’attributs multivalués. Ce cas est illustré pour l’historisation des commandes des clients par la figure A.2a.

Dans un modèle offrant la notion d’historique il ne faut plus utiliser d’attribut multivalué mais simplement un attribut historique (monovalué) comme le montre la figure A.2b. Pour un client donné le domaine structurel de l’attribut *Commandes* décrit l’ensemble des commandes qu’il a passées. Cet historique étant observé au niveau du jour il n’est possible d’enregistrer qu’une seule commande par jour.

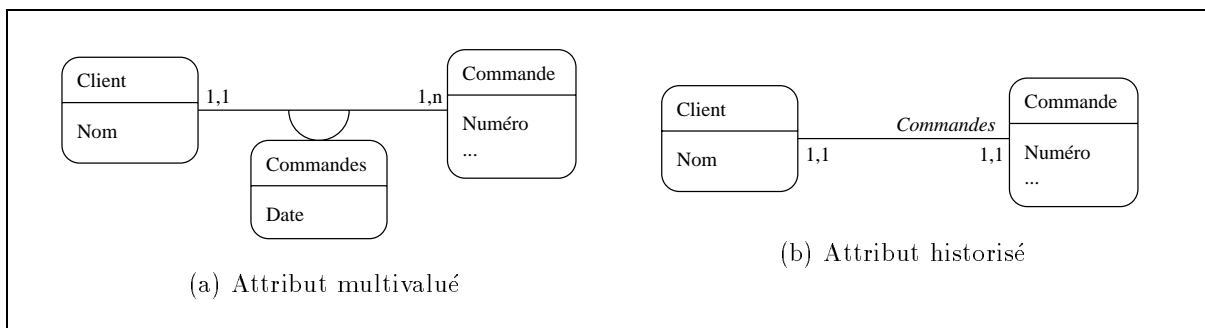


FIG. A.2 – Attribut multivalué vs attribut historique

Nous détaillons maintenant les principaux éléments de cette application

### **A.1.1 La source (Cf. figure A.3)**

L'exploitation de la source est soumise à l'obtention d'un agrément dont on ne retient que le numéro.

Afin de déterminer le rythme des chaînes de production le débit de la source est analysé régulièrement. Toutes les douze heures un capteur enregistre le débit horaire d'eau (en  $m^3$ ). En cas de panne il peut y avoir des valeurs absentes. A tout instant (heure) on peut demander le débit qui est estimé à partir des dernières données enregistrées. Le domaine temporel de cet historique commence le 1<sup>er</sup> janvier 1990 (date de création de Oplate) et la borne supérieure n'est pas fixée ( $+\infty$ ). Il est donc possible d'interpoler des valeurs pour le futur.

### **A.1.2 Les bouteilles (Cf. figure A.4)**

L'usine produit différents types de bouteilles chacun identifié par son nom.

Chaque type est caractérisé par son prix unitaire de vente et sa capacité. L'historique des prix est conservé. La capacité peut changer (par exemple lors d'une promotion la capacité d'une bouteille "Zébu" peut passer de 1 litre à 115 litres) mais cette évolution n'est pas historisée.

Chaque jour l'entreprise enregistre la quantité de bouteilles produites pour chaque type. Les jours où il n'y a pas de production (week-end grève) aucun enregistrement n'est fait dans la base de données.

Le domaine temporel des historiques prix et production commence lors de la création du type de bouteille correspondant et ne sont pas limités dans le futur. La borne supérieure est fixée lorsqu'un type de bouteille n'est plus produit.

### **A.1.3 Les clients (Cf. figure A.5)**

Les sociétés clientes sont identifiées par leur nom. Elles sont enregistrées dans la base lors de leur premier achat à Oplate.

On garde l'historique de leurs adresses et de leurs numéros de téléphone. Ces deux attributs évoluent de manière synchrone.

On connaît les directeurs successifs des entreprises clientes (ce renseignement est historisé).

On enregistre également l'historique des ventes qui leur sont faites. Cet historique est observé au niveau du jour ce qui signifie que les commandes passées un même jour par un client donné sont regroupées.

Le domaine temporel de tous les attributs relatifs aux clients commence lors de la première commande du client et n'est pas borné dans le futur.

### **A.1.4 Les commandes (Cf. figure A.6)**

Les commandes sont identifiées par un numéro.

Lorsqu'il passe une commande un client peut acheter des bouteilles de divers types. Pour chaque type il indique la quantité de bouteilles voulue. Le montant de la commande est calculé automatiquement en fonction du prix des types commandés au jour de la commande et des quantités voulues pour chaque type.

Opplate livre elle-même ses clients et pour chaque commande on enregistre le camion devant effectuer la livraison. On suppose ici qu'une commande peut toujours être livrée par un seul camion.

### **A.1.5 Les camions (Cf. figure A.7)**

Ils sont identifiés par leur numéro d'immatriculation.

On enregistre la date de leur achat qui permet de déterminer ensuite la date des contrôles techniques qu'ils doivent subir. La validité du contrôle technique est de 1 an. Les résultats des contrôles (numéro d'agrément obtenu après le contrôle et observations éventuelles) sont historisés au niveau du mois. Il s'agit d'une précision suffisante pour déterminer les prochains contrôles. Ainsi le domaine temporel de cet attribut correspond à une séquence périodique de premier instant la date d'achat (approximée au mois) et de période 1 an.

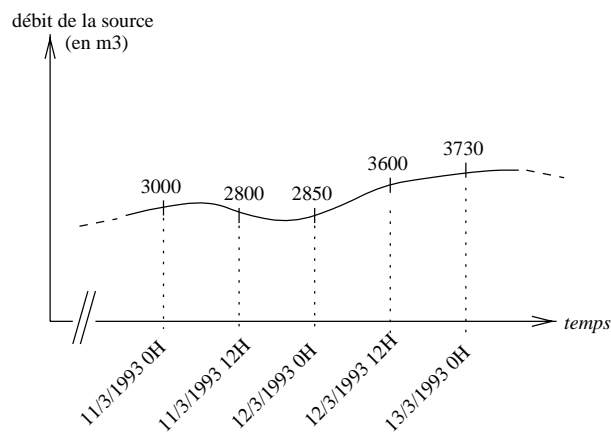
Par ailleurs les camions sont entretenus par un garagiste. Les dates des révisions ne sont pas connues à l'avance elles dépendent du nombre de livraisons effectuées (kilométrage parcouru) et des incidents éventuels (accidents casse mécanique etc). Ces visites sont historisées (nature d'opération et coût). Le domaine temporel des entretiens commencent à la date d'achat du camion. La borne supérieure est fixée lorsque le camion est vendu ou mis à la casse.

| Attribut | Type   | Nature     |
|----------|--------|------------|
| Agrément | Entier | Constant   |
| Débit    | Réel   | Historique |

(a) Attributs

| Attribut historisé | Unité d'observation | Type historique |
|--------------------|---------------------|-----------------|
| Débit de la source | Heure               | Interpolé       |

(b) Détail pour les attributs historiques



(c) Exemple d'évolution du débit de la source :

| Attribut | Valeur   |
|----------|--|
| Agrément | 100450   |
| Débit    | [ ...<br>< 11/3/1993 0HG3000 >Γ< 11/3/1993 12HG2800 >Γ<br>< 12/3/1993 0HG2850 >Γ< 12/3/1993 12HG3600 >Γ<br>< 13/3/1993 0HG3730 >Γ<br>... ] |

(d) Exemple de valeur

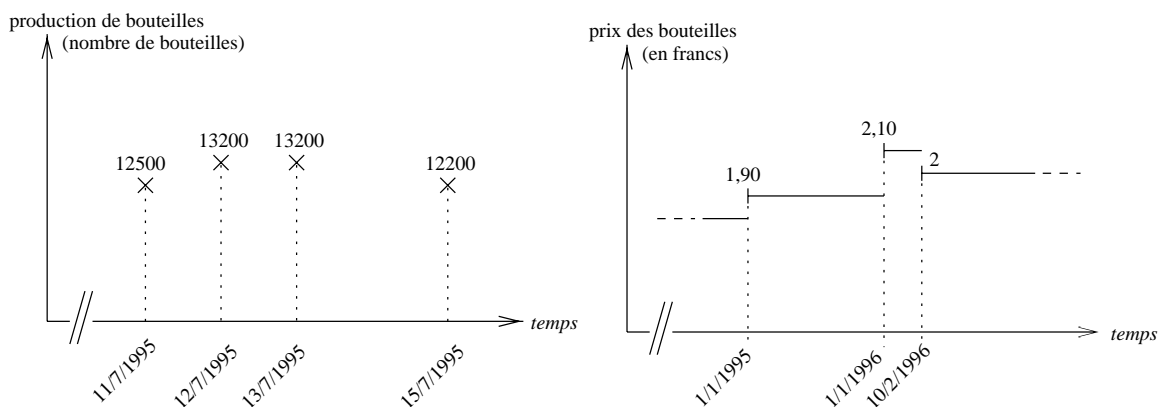
FIG. A.3 – La source

| Attribut   | Type   | Nature     |
|------------|--------|------------|
| Type       | Texte  | Constant   |
| Volume     | Réel   | Fugitif    |
| Production | Entier | Historique |
| Prix       | Réel   | Historique |

(a) Attributs

| Attribut historisé | Unité d'observation | Type historique |
|--------------------|---------------------|-----------------|
| Production         | Jour                | Discret         |
| Prix               | Jour                | Escalier        |

(b) Détail pour les attributs historiques



(c) Exemple d'évolution du prix et de la production des bouteilles "Plus Soif" :

| Attribut   | Valeur  |
|------------|---|
| Type       | PlusSoif  |
| Volume     | 1E5   |
| Production | [ ...Γ < 11/7/1995Γ12500 >Γ < 12/7/1995Γ13200 >Γ < 13/7/1995Γ13200 >Γ < 15/7/1995Γ12200 >Γ... ] |
| Prix       | [ ...Γ < 1/1/1995Γ1,90 >Γ < 1/1/1996Γ2,10 >Γ < 10/2/1996Γ2 > ]                                  |
| Type       | Zébu  |
| Volume     | 2E5   |
| Production | [ ...Γ < 25/10/1996Γ4700 >Γ... ]  |
| Prix       | [ < 1/1/1990Γ3 >Γ < 15/6/1993Γ3E20 >Γ < 1/5/1995Γ3E50 >Γ < 1/5/1997Γ3E80 > ]                    |

(d) Exemple de valeur

FIG. A.4 – Les bouteilles

| Attribut  | Type     | Nature     |
|-----------|----------|------------|
| Nom       | Texte    | Constant   |
| Directeur | Texte    | Historique |
| Adresse   | Texte    | Historique |
| Téléphone | texte    | Historique |
| Commandes | Commande | Historique |

(a) Attributs

| Attribut historisé | Unité d'observation | Type historique |
|--------------------|---------------------|-----------------|
| Directeur          | Jour                | Escalier        |
| Adresse            | Jour                | Escalier        |
| Téléphone          | Jour                | Escalier        |
| Commandes          | Jour                | Discret         |

(b) Détail pour les attributs historiques

| Attribut  | Valeur   |
|-----------|--|
| Nom       | Supermarché du désert  |
| Directeur | [ < 1/1/1990ΓHiddid > ]  |
| Adresse   | [ < 1/1/1990ΓTataouine >Γ< 1/12/1994ΓTunis > ]   |
| Téléphone | [ < 1/1/1990Γ162 243 >Γ< 1/12/1994Γ325 478 > ]   |
| Commandes | [ < 1/1/1990Γ@00001 >Γ<br>...<br>< 15/4/1997Γ@24023 >Γ< 10/5/1997Γ@24345 >Γ<br>< 6/6/1997Γ@24589 > ] |
| Nom       | Alimentation du maquis   |
| Directeur | [ < 1/3/1990ΓDupond >Γ< 16/8/1992ΓNil > ]<br>< 1/9/1992ΓMaurizi > ]                                  |
| Adresse   | [ < 1/1/1990ΓPropriano >Γ<br>< 21/5/1992ΓAjaccio >Γ<br>< 1/4/1993ΓPropriano > ]                      |
| Téléphone | [ < 1/1/1990Γ04 95 34 12 56 >Γ<br>< 21/5/1992Γ04 95 56 39 74 >Γ<br>< 1/4/1993Γ04 95 44 57 22 > ]     |
| Commandes | [ < 1/3/1990Γ@00054 >Γ< 23/5/1990Γ@00058 >Γ... ]   |

(c) Exemple de valeur

FIG. A.5 – *Les clients*

| Attribut  | Type   | Nature   |
|-----------|--|----------|
| Numéro    | Entier   | Constant |
| Client    | Client   | Fugitif  |
| Détail    | liste(tuple(<br>type : BouteilleΓ<br>quantité : Entier)) | Fugitif  |
| Livraison | Camion   | Fugitif  |

(a) Attributs

| Attribut  | Valeur                              |
|-----------|-------------------------------------|
| Numéro    | 24023                               |
| Client    | @Supermarché du désert              |
| Détail    | [ < 250Γ@PlusSoif >Γ< 100Γ@Zébu > ] |
| Livraison | @4856VG38                           |
| Numéro    | 24589                               |
| Client    | @Supermarché du désert              |
| Détail    | [ < 1000Γ@Zébu > ]                  |
| Livraison |                                     |

(b) Exemple de valeur

FIG. A.6 – *Les commandes*

| Attribut        | Type  | Nature     |
|-----------------|---|------------|
| Immatriculation | Texte   | Constant   |
| Date d'achat    | Instant(jour)                                     | Fugitif    |
| Entretien       | tuple(<br>nature : TexteΓ<br>prix : Réel)         | Historique |
| Contrôle        | tuple(<br>agrément : TexteΓ<br>remarques : Texte) | Historique |

(a) Attributs

| Attribut historisé | Unité d'observation | Type historique |
|--------------------|---------------------|-----------------|
| Entretien          | Jour                | Discret         |
| Contrôle           | Mois                | Régulier        |

(b) Détail pour les attributs historiques

| Attribut        | Valeur   |
|-----------------|--|
| Immatriculation | 4856 VG 38   |
| Date d'achat    | 15/2/1993  |
| Entretien       | [ ...Γ< 5/2/1996Γ< VidangeΓ1200 > >Γ<br>< 3/11/1998Γ< BatterieΓ800 > >Γ<br>< 8/4/1997Γ< VidangeΓ1300 > > ] |
| Contrôles       | [ < 8/1995Γ< n48534Γ- > >Γ<br>< 8/1996Γ< n67810Γpneux AV usés > >Γ<br>< 8/1997Γ< n80143Γ- > > ]            |
| Immatriculation | 735 AOC 38   |
| Date d'achat    | 19/5/1997  |
| Entretien       | [ < 10/07/1997Γ< CarrosserieΓ8600 > > ]  |
| Contrôles       | [ ]  |

(c) Exemple de valeur

FIG. A.7 – *Les camions*



## A.1.6 Quelques requêtes

Nous présentons ici quelques requêtes significatives dans le cadre de cette application :

**R.1 :** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

**R.2 :** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

**R.3 :** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

On considère qu'une bouteille est en vente lorsque son prix de vente est défini.

**R.4 :** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

Un client est enregistré dans la base lors de sa première commande (il est alors "connu").

**R.5 :** *Quand les bouteilles de type "PlusSoif" ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type "Zébu" ?*

**R.6 :** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

**R.7 :** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?*

**R.8 :** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

**R.9 :** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client "Alimentation du maquis" juste après qu'il ait quitté Propriano ?*

## A.2 Modélisation en relationnel (Oracle)

### A.2.1 Schéma

Pour transformer le schéma OMT en schéma relationnel afin d'éviter toute redondance d'information et pour obtenir un nombre minimal de relations nous avons suivi les règles suivantes (toutes les relations obtenues sont en 3FN) :

- Pour chaque classe de l'application une relation "historique" (contenant un attribut *validité*) est associée à chaque attribut historique (mono-valué ou multi-valué) ceci pour éviter les redondances liées aux évolutions asynchrones des attributs.
- Dans chaque relation historique un nuplet représente un instantané  $\langle v, t \rangle$  tel que la valeur  $v$  est vraie à l'instant  $t$  dans le monde réel. Afin de ne pas rendre encore plus complexe le schéma et les requêtes nous avons choisi de ne pas représenter les ensembles d'instantanés (intervalles ou éléments temporels). Ainsi seuls les changements de valeur sont enregistrés et la valeur d'une relation temporelle entre deux n-uplets est interprétée différemment selon le type (discret ou en escalier) de l'historique modélisé. Pour un historique discret il n'y a pas de valeur autre que les valeurs enregistrées. Pour un historique en escalier la valeur de la relation entre deux n-uplets consécutifs (suivant leur temps de validité) correspond à la valeur du n-uplet le plus ancien.
- Pour chaque classe de l'application les attributs mono-valués constants ou fugitifs sont regroupés dans une relation non-historique.
- Enfin une relation non-historique est introduite pour chaque attribut multi-valué constant ou fugitif.
- Lorsqu'une relation non-historique ne comporte qu'un attribut constant elle est éliminée car elle est forcément incluse dans une relation "historique".

Nous obtenons ainsi le schéma relationnel suivant :

Source (Validite, Agrement, Debit)

$\{ \langle v, a, d \rangle \in \text{Source} \iff \text{le débit de la source de numéro d'agrément } a, \text{ à l'heure } v, \text{ est } d \}$

Bouteille (Type, Volume)

$\{ \langle t, v \rangle \in \text{Bouteille} \iff \text{la bouteille de type } t \text{ a une capacité de } v \text{ litres} \}$

BouteilleProd (Validite, Type, Production)

$\{ \langle v, t, p \rangle \in \text{BouteilleProd} \iff \text{la bouteille de type } t \text{ a été produite en } p \text{ exemplaires le jour } v \}$

BouteillePrix (Validite, Type, Prix)

$\{ \langle v, t, p \rangle \in \text{BouteillePrix} \iff \text{le prix unitaire de vente de la bouteille de type } t \text{ est passé à } p \text{ francs le jour } v \}$

Camion (Immat, DateAchat)

$\{ \langle i, d \rangle \in \text{Camion} \iff \text{le camion d'immatriculation } i \text{ a été acheté le jour } d \}$

CamionEntretiens (Validite, Immat, Nature, Prix)

$\{ \langle v, i, n, p \rangle \in \text{CamionEntretiens} \iff \text{le camion d'immatriculation } i \text{ a subi une visite d'entretien de type } n \text{ qui a coûté } p \text{ francs le jour } v \}$

CamionControles (Validite, Immat, Agrement, Remarques)

$\{ \langle v, i, a, r \rangle \in \text{CamionControles} \iff \text{le camion d'immatriculation } i \text{ a subi un contrôle technique le mois } v, \text{ l'agrément obtenu est le numéro } a, \text{ et les remarques } r \text{ ont été faites par le contrôleur } \}$

LivraisonCom (Numero, Client, ImmatCamion)

$\{ \langle n, c, i \rangle \in \text{LivraisonCom} \iff \text{la commande de numéro } n \text{ vient du client de nom } c, \text{ et a été livrée par le camion d'immatriculation } i \}$

LigneCom (NumCom, NumL, TypeB, Quantite)

$\{ \langle c, l, t, q \rangle \in \text{LigneCom} \iff \text{la ligne } l \text{ de la commande } c \text{ correspond à } q \text{ exemplaires de bouteilles de type } t \}$

ClientDirecteur (Validite, Nom, Directeur)

$\{ \langle v, n, d \rangle \in \text{ClientDirecteur} \iff \text{la personne } d \text{ a été nommée directeur de la société cliente de nom } n \text{ le jour } v \}$

ClientCoordonnees (Validite, Nom, Adresse, Telephone)

$\{ \langle v, n, a, t \rangle \in \text{ClientCoordonnees} \iff \text{le client de nom } n \text{ a déménagé à l'adresse } a \text{ le jour } v, \text{ son nouveau numéro de téléphone est } t \}$

ClientCommandes (Validite, Nom, Commandes)

$\{ \langle v, n, c \rangle \in \text{ClientCommandes} \iff \text{le client de nom } n \text{ a passé la commande de numéro } c \text{ le jour } v \}$

La figure A.8 monte un exemple de valeur pour les relations BouteilleProd et BouteillePrix.

| BouteilleProd | Validité  | Type     | Production |
|---------------|-----------|----------|------------|
| ...           | 11/7/1995 | PlusSoif | 12500      |
|               | 12/7/1995 | PlusSoif | 13200      |
|               | 13/7/1995 | PlusSoif | 13200      |
|               | 15/7/1995 | PlusSoif | 12200      |
| ...           |           |          |            |

| BouteillePrix | Validité  | Type     | Prix |
|---------------|-----------|----------|------|
|               | 1/1/1995  | PlusSoif | 1190 |
|               | 1/1/1996  | PlusSoif | 2110 |
|               | 10/2/1996 | PlusSoif | 2    |

FIG. A.8 – Exemple de valeur pour les relations BouteilleProd et BouteillePrix

La création du schéma en SQL est la suivante :

```
create table Source (
  Validite date,
  Agrement char(20),
  Debit number(4,2),
  constraint Cle_Source
    primary key (Validite, Agrement) );

create table Bouteille (
  Type char(20),
  Volume number(4,2),
  constraint Cle_Bouteille
    primary key (Type) );

create table BouteilleProd (
  Validite date,
  Type char(20)
    references Bouteille(Type),
  Production number(4),
  constraint Cle_BouteilleProd
    primary key (Validite, Type) );

create table BouteillePrix (
  Validite date,
  Type char(20)
    references Bouteille(Type),
  Prix number(4,2),
  constraint Cle_BouteillePrix
    primary key (Validite, Type) );

create table Camion (
  Immat char(20),
  DateAchat date,
  constraint Cle_Camion
    primary key (Immat) );

create table CamionEntretiens (
  Validite date,
  Immat char(20)
    references Camion(Immat),
  Nature char(20),
  Prix number(4,2),
  constraint Cle_CamionEntretiens
    primary key (Validite, Immat) );

create table CamionControles (
  Validite date,
  Immat char(20)
    references Camion(Immat),
  Agrement char(20),
  Remarques char(20),
  constraint Cle_CamionControles
    primary key (Validite, Immat) );

create table LivraisonCom (
  Numero number(4),
  Client char(20),
  ImmatCamion char(20),
  constraint Cle_LivraisonCom
    primary key (Numero) );

create table LigneCom (
  NumCom number(4),
  NumL number(4),
  TypeB char(20),
  Quantite number(4),
  constraint Cle_LigneCom
    primary key (NumCom, NumL) );

create table ClientDirecteurs (
  Validite date,
  Nom char(20),
  Directeur char(20),
  constraint Cle_ClientDirecteurs
    primary key (Validite, Nom) );

create table ClientCoordonnees (
  Validite date,
  Nom char(20)
    references Client(Nom),
  Adresse char(200),
```

```

Telephone char(20),
constraint Cle_ClientCoordonnees
primary key (Validite, Nom) );

create table ClientCommandes (
Validite date,

```

```

Nom char(20)
references Client(Nom),
Commandes number(4),
constraint Cle_ClientCommandes
primary key (Validite, Nom) );

```

## A.2.2 Requêtes

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```

SELECT C.Immat, C.DateAchat, E.Nature, E.Prix
FROM Camion C, CamionEntretiens E
WHERE C.Immat = E.immat

```

Cette requête ne contient pas d'information temporelle. Il suffit de mettre en correspondance les informations sur les camions et celles sur leurs visites d'entretien.

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```

SELECT C.Immat, E.Nature, E.Prix, E.Validite
FROM Camion C, CamionEntretiens E
WHERE C.Immat = E.immat AND E.Nature ≠ 'Vidange'

```

Ici la sélection n'est pas temporelle. Elle s'exprime simplement en SQL. Il suffit de récupérer les instants de validité associés aux n-uplets sélectionnés.

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

```

PrixPeriode =
{ Cette requête permet de construire l'historique des prix des bouteilles dans [1/1/1990,
31/12/1996]. }
SELECT *
{ Ensemble des prix des types de bouteilles modifiés dans la période. }
FROM BouteillePrix
WHERE Validite > '1/1/1990' AND Validite ≤ '1/12/1996'

```

```

UNION
SELECT '1/1/1990', Type, Prix
{ Pour chaque type de bouteille, détermination du prix valide au 1/1/1990 (lorsqu'il est défini
à cette date là). }
FROM BouteillePrix P1
WHERE Validite = (SELECT MAX(Validite)
                  FROM BouteillePrix P2
                  WHERE Validite ≤ '1/1/1990'
                  AND P2.Type = P1.Type)

```

```

UNION
SELECT '1/1/1990', Type, NULL
{ Pour chaque type de bouteille dont le prix n'est pas défini au 1/1/1990, construction d'un
n-uplet avec la valeur absente. }
FROM BouteillePrix P1
WHERE Type NOT IN (SELECT Type
                  FROM BouteillePrix
                  WHERE Validite < '1/1/1990'

```

Requête finale :

```

SELECT *
FROM PrixPeriode
WHERE Type NOT IN (SELECT Type
                  FROM PrixPeriode
                  WHERE Prix IS NULL)

```

La requête finale retient le type et l'historique des prix pour les bouteilles dont le prix n'a jamais été absent (donc jamais à NULL) pendant la période donnée.

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```

SELECT D.Nom, D.Directeur, D.Validité
FROM ClientDirecteur D, ClientCoordonnees C
WHERE C.Nom = D.Nom AND C.adresse = 'Paris'
AND D.Nom in (SELECT Nom
              FROM ClientCommandes
              WHERE Validite ≤ '31/12/1994')
{ La condition précédente permet de ne retenir que les clients connus depuis 1994. }
AND (C.Validite = D.Validite
     { La condition précédente permet de sélectionner les n-uplets correspondant aux clients
ayant simultanément changé de directeur et d'adresse. }
OR

```

C.Validite < D.Validite

```
AND NOT EXISTS (SELECT *
                 FROM ClientCoordonnees CC
                 WHERE CC.Nom = C.Nom
                 AND CC.Validite > C.Validite
                 AND CC.Validite ≤ D.Validite)
```

*{ La condition précédente permet de sélectionner les n-uplets correspondant aux clients dont le directeur a changé lorsqu'ils étaient déjà à Paris. }*

OR

D.Validite < C.Validite

```
AND NOT EXISTS (SELECT *
                 FROM ClientDirecteur DD
                 WHERE DD.Nom = D.Nom
                 AND DD.Validite > D.Validite
                 AND DD.Validite ≤ C.Validite))
```

*{ La condition précédente permet de sélectionner les n-uplets correspondant aux clients dont le directeur est en fonction au moment d'un déménagement à Paris. }*

**R.5** *Quand les bouteilles de type “PlusSoif” ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type “Zébu” ?*

```
SELECT P.Validite
FROM BouteilleProd P, BouteilleProd Z
WHERE P.Type = 'PlusSoif' AND Z.Type = 'Zébu'
AND P.Validite (+) = Z.Validite
AND P.Production > NVL(Z.Production, 0)
```

On utilise ici le produit externe (clause (+) dans l'expression du produit) pour sélectionner les instants pendant lesquels les bouteilles “PlusSoif” étaient produites alors que les bouteilles “Zébu” ne l'étaient pas.

Le résultat de cette requête est un ensemble d'instant. SQL ne dispose pas d'un type élément temporel permettant de les regrouper en une seule valeur.

**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

```
SELECT O.Validité, O.Type, O.Production, I.Prix
FROM BouteilleProd O, BouteillePrix I
WHERE O.Type = I.Type
AND O.Validité ≥ '1/1/97' AND O.Validité ≤ '31/12/97'
```

*{ La disjonction ci-dessous permet de déterminer le prix d'une bouteille à chaque instant où une valeur de sa production est donnée. Les n-uplets retenus sont ceux pour lesquels le prix correspond à l'instant de la production, soit  $t_1$ , que le prix ait été changé à cet instant où à un instant précédent, soit  $t_2$  (sans autre modification de prix entre  $t_1$  et  $t_2$ ). }*

```

AND (I.Validité = O.Validité
    OR
    I.Validité < O.Validité
    AND NOT EXISTS (SELECT *
                    FROM BouteillePrix II
                    WHERE II.Type = I.Type
                    AND II.Validité > I.Validité
                    AND II.Validité ≤ O.Validité))

```

La requête manipule deux informations qui n'évoluent pas de manière synchrone. Pour les productions enregistrées pendant la période considérée la requête calcule à chaque fois le prix correspondant.

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?*

```

PrixProduction =
SELECT O.Validité, O.Type, O.Production, I.Prix
FROM BouteilleProd O, BouteillePrix I
WHERE O.Type = I.Type
AND (I.Validité = O.Validité
    OR
    I.Validité < O.Validité
    AND NOT EXISTS (SELECT *
                    FROM BouteillePrix II
                    WHERE II.Type = I.Type
                    AND II.Validité > I.Validité
                    AND II.Validité ≤ O.Validité))

```

{ Cette requête intermédiaire, selon le même principe que R.6 réunit les historiques de production et de prix (sans restreindre à un domaine temporel particulier). }

```

Requête finale :
SELECT SUM(Production)
FROM PrixProduction
WHERE Type = 'PlusSoif' AND Prix > 5

```

Cette requête restreint la relation au type et au prix considéré et calcule la somme des bouteilles produites.



**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

```
SELECT Nature, Validité
FROM CamionEntretiens
WHERE E1.Immat = '735 AOC 38'
AND Validité > (SELECT MIN(Validité)
                FROM CamionEntretiens
                WHERE Immat = '735 AOC 38'
                AND Nature = 'vidange')
```

Cette requête sélectionne les visites effectuées sur le camion concerné après la date de la première vidange (calculée par la sous-requête).

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client "Alimentation du maquis" juste après qu'il ait quitté Propriano ?*

```
SELECT C2.Adresse
FROM ClientCoordonnees C1, ClientCoordonnees C2
WHERE C1.Nom = C2.Nom
AND C1.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND C1.Adresse = 'Propriano'
AND C1.Validite < C2.Validite
AND NOT EXISTS (SELECT *
                FROM ClientCoordonnees C3
                WHERE C3.Nom = C1.Nom
                AND C3.Validite > C1.Validite
                AND C3.Validite < C2.Validite)
```

Le requête principale fait le lien entre l'adresse à Propriano et les adresses suivantes. La sous-requête permet de sélectionner le n-uplet C2 correspondant à l'adresse où le client a déménagé juste après avoir quitté Propriano.

## A.3 Modélisation en TSQL 2

### A.3.1 Schéma

Le fait d'associer le temps de validité aux n-uplets dans TSQL 2 nous contraint à créer plusieurs tables lorsque dans une relation l'évolution des attributs historiques n'est pas synchrone et en particulier lorsqu'ils ne sont pas observés à la même granularité.

De ce fait le schéma relationnel obtenu est identique à celui de SQL 2 à ceci près que la gestion du temps de validité est pris en charge par le système.

Suivant le type d'historique voulu TSQL 2 offre deux types de relations : les *valid event relations* qui correspondent aux historiques discrets et les *valid state relations* qui correspondent aux historiques en escalier. Pour les historiques interpolés il faut stocker les valeurs effectives comme pour un historique discret et faire ensuite l'interpolation lors de l'interrogation.

Le schéma relationnel final est le suivant :

**Source (Agrement, Debit)** { *valid event table* }

{  $\langle a, d, v \rangle \in \text{Source} \iff$  le débit de la source de numéro d'agrément  $a$  est  $d$ , à tous les instants de  $v$  }

{ *L'attribut relatif au temps de validité est automatiquement ajouté par TSQL 2 pour les relations historiques. Il s'agit d'un élément temporel* }

**Bouteille (Type, Volume)** { *snapshot table* }

{  $\langle t, v \rangle \in \text{Bouteille} \iff$  la bouteille de type  $t$  a une capacité de  $v$  litres }

**BouteilleProd (Type, Production)** { *valid event table* }

{  $\langle t, p, v \rangle \in \text{BouteilleProd} \iff$  la bouteille de type  $t$  a été produite en  $p$  exemplaires chaque jour de  $v$  }

**BouteillePrix (Type, Prix)** { *valid state table* }

{  $\langle t, p, v \rangle \in \text{BouteillePrix} \iff$  le prix unitaire de vente de la bouteille de type  $t$  est de  $p$  francs pendant la période  $v$  }

**Camion (Immat, DateAchat)** { *snapshot table* }

{  $\langle i, d \rangle \in \text{Camion} \iff$  le camion d'immatriculation  $i$  a été acheté le jour  $d$  }

**CamionEntretiens (Immat, Nature, Prix)** { *valid event table* }

{  $\langle i, n, p, v \rangle \in \text{CamionEntretiens} \iff$  le camion d'immatriculation  $i$  a subi une visite d'entretien de type  $n$  qui a coûté  $p$  francs aux instants de  $v$  }

**CamionControles (Immat, Agrament, Remarques)** { *valid event table* }

{  $\langle i, a, r, v \rangle \in \text{CamionControles} \iff$  le camion d'immatriculation  $i$  a subi un contrôle technique aux instants de  $v$ , l'agrément obtenu est le numéro  $a$ , et les remarques  $r$  ont été faites par le contrôleur }

**LivraisonCom (Numero, Client, ImmatCamion)** { *snapshot table* }

{  $\langle n, c, i \rangle \in \text{LivraisonCom} \iff$  la commande de numéro  $n$  vient du client de nom  $c$ , et a été livrée par le camion d'immatriculation  $i$  }

LigneCom (NumCom, NumL, TypeB, Quantite) { *snapshot table* }

{  $\langle c, l, t, q \rangle \in \text{LigneCom} \iff$  la ligne  $l$  de la commande  $c$  correspond à  $q$  exemplaires de bouteilles de type  $t$  }

ClientDirecteur (Nom, Directeur) { *valid state table* }

{  $\langle n, d, v \rangle \in \text{ClientDirecteur} \iff$  la personne  $d$  est directeur de la société cliente de nom  $n$  pendant la période  $v$  }

ClientCoordonnes (Nom, Adresse, Telephone) { *valid state table* }

{  $\langle n, a, t, v \rangle \in \text{ClientCoordonnes} \iff$   $a$  est l'adresse et  $t$  le téléphone du client de nom  $n$  pendant la période  $v$  }

ClientCommandes (Nom, Commandes) { *valid event table* }

{  $\langle n, c, v \rangle \in \text{ClientCommandes} \iff$  le client de nom  $n$  a passé la commande de numéro  $c$  le jour  $v$  }

La figure A.9 monte un exemple de valeur pour les relations BouteilleProd et BouteillePrix.

| BouteilleProd | Type     | Production | Validité  |
|---------------|----------|------------|-----------|
| ...           | PlusSoif | 12500      | 11/7/1995 |
|               | PlusSoif | 13200      | 12/7/1995 |
|               | PlusSoif | 13200      | 13/7/1995 |
|               | PlusSoif | 12200      | 15/7/1995 |
| ...           |          |            |           |

| BouteillePrix | Type     | Prix | Validité              |
|---------------|----------|------|-----------------------|
|               | PlusSoif | 1190 | [1/1/1995Γ31/12/1995] |
|               | PlusSoif | 2110 | [1/1/1996Γ9/2/1996]   |
|               | PlusSoif | 2    | [10/2/1996Γnow]       |

FIG. A.9 – Exemple de valeur pour les relations BouteilleProd et BouteillePrix

La définition du schéma en TSQL 2 est :

```
create table Source (
  Agrement char(20),
  Debit number(4,2),
  constraint Cle_Source
    primary key (Agrement) )
as valid event to hour ;
```

```
create table Bouteille (
  Type char(20),
  Volume number(4,2),
  constraint Cle_Bouteille
    primary key (Type) ) ;
```

```
create table BouteilleProd (
  Type char(20)
  references Bouteille(Type),
  Production number(4),
  constraint Cle_BouteilleProd
    primary key (Type) )
as valid event to day ;
```

```
create table BouteillePrix (
  Type char(20)
  references Bouteille(Type),
  Prix number(4,2),
```

```
constraint Cle_BouteillePrix
primary key (Type) )
as valid state to day ;

create table Camion (
Immat char(20),
DateAchat date,
constraint Cle_Camion
primary key (Immat) ) ;

create table CamionEntretiens (
Immat char(20)
references Camion(Immat),
Nature char(20),
Prix number(4,2),
constraint Cle_CamionEntretiens
primary key (Immat) )
as valid event to day ;

create table CamionControles (
Immat char(20)
references Camion(Immat),
Agrement char(20),
Remarques char(20),
constraint Cle_CamionControles
primary key (Immat) )
as valid event to month ;

create table LivraisonCom (
Numero number(4),
Client char(20),
ImmatCamion char(20),
constraint Cle_Commande
```

```
primary key (Numero) ) ;

create table LigneCom (
NumCom number(4),
NumL number(4),
TypeB char(20),
Quantite number(4),
constraint Cle_LigneCom
primary key (NumCom, NumL) ) ;

create table ClientDirecteurs (
Nom char(20),
Directeur char(20),
constraint Cle_ClientDirecteurs
primary key (Nom) )
as valid state to day ;

create table ClientCoordonnées (
Nom char(20)
references ClientDirecteurs(Nom),
Adresse char(200),
Telephone char(20),
constraint Cle_ClientCoordonnées
primary key (Nom) )
as valid state to day ;

create table ClientCommandes (
Nom char(20)
references ClientDirecteurs(Nom),
Commandes number(4),
constraint Cle_ClientCommandes
primary key (Nom) )
as valid event to day ;
```

### A.3.2 Requêtes

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```
SELECT C.Immat, C.DateAchat, E.Nature, E.Prix
FROM Camion C, CamionEntretiens E
WHERE C.Immat = E.Immat
```

Le produit d'une relation de type *event table* avec une autre relation est une relation de type *event table*.

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```
SELECT C.Immat, E.Nature, E.Cout
FROM Camions C, CamionEntretiens E
WHERE C.Immat = E.Immat
AND E.Nature != 'vidange'
```

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

```
SELECT B.Type, B.Prix VALID INTERSECT (PERIOD '[1/1/1990, 1/12/1996]')
{ La clause VALID INTERSECT effectue la restriction temporelle à la période donnée de la
relation résultat de la requête. }
FROM BouteillePrix B
WHERE VALID(B) CONTAINS PERIOD '[1/1/1990, 1/12/1996]'
{ La clause WHERE introduit ici une sélection temporelle. }
```

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```
SELECT D.Nom, D.Directeur
FROM ClientDirecteurs D, ClientCoordonnées C
WHERE D.Nom = C.Nom
AND D.Nom IN (SELECT CC.Nom
              FROM ClientCommandes CC
              WHERE valid(CC) < '1/1/1994')
```

L'emboîtement de la sous-requête est nécessaire du fait de l'extension du produit cartésien en TSQL 2 (sémantique de l'intersection). La requête ci-dessous construit une relation de type *event table* et restreint l'historique résultat aux instants auxquels est associée une commande :

```

SELECT D.Nom, D.Directeur
FROM ClientDirecteurs D, ClientCoordonnées C, ClientCommandes Com
WHERE D.Nom = C.Nom AND D.Nom = Com.Nom
AND VALID(Com) < '1/1/1994'

```

**R.5** *Quand les bouteilles de type “PlusSoif” ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type “Zébu” ?*

```

SELECT VALID(P1)
FROM BouteilleProd P1, BouteilleProd P2
WHERE P1.Type = 'PlusSoif' AND P2.Type = 'Zébu'
AND P1.Production > P2.Production
UNION
SELECT VALID(P1)
FROM BouteilleProd P1
WHERE P1.Type = 'PlusSoif'
AND NOT EXISTS (SELECT *
                 FROM BouteilleProd P2
                 WHERE P2.Type = 'Zébu'
                 AND VALID(P1) = VALID(P2))

```

La seconde partie de la requête permet de sélectionner les instants où les bouteilles “PlusSoif” sont produites alors que les bouteilles “Zébu” ne le sont pas.

**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

```

SELECT P.Type, O.Production, P.Prix VALID INTERSECT '[1/1/1997'..'31/12/1997]'
FROM BouteillePrix P, BouteilleProduction O
WHERE P.Type = O.Type

```

TSQL 2 est particulièrement bien adapté à l'expression de requêtes dans lesquelles on combine des instantanés définis aux mêmes instants et issus d'historiques différents.

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type “PlusSoif” lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?*

```

SELECT SUM(O.Production)
FROM BouteillePrix P, BouteilleProduction O
WHERE O.Type = P.Type AND P.Prix > 5

```

TSQL 2 est particulièrement bien adapté à l'expression de requêtes dans lesquelles on combine des instantanés issus d'historiques différents et définis aux mêmes instants.

**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

```
SELECT E1.Nature
FROM CamionEntretiens E1
WHERE E1.Immat = '735 AOC 38'
AND VALID(E1) > (SELECT MIN(VALID(E2))
                  FROM CamionEntretiens E2
                  WHERE E2.Immat = E1.Immat
                  AND E2.Nature = 'vidange')
```

Ici aussi l'emboîtement des deux requêtes est rendu obligatoire par la sémantique du produit cartésien.

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client "Alimentation du maquis" juste après qu'il ait quitté Propriano ?*

```
SELECT SNAPSHOT C1.Adresse
FROM ClientCoordonnées C1
WHERE C1.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND EXISTS (SELECT *
            FROM C2 in ClientCoordonnées
            WHERE C2.Nom = C1.Nom
            AND C2.Adresse = 'Propriano'
            AND VALID(C1) MEETS VALID(C2))
```

La clause `SELECT SNAPSHOT` exprime la projection de la relation résultat selon les valeurs structurelles. Le résultat est une relation instantanée.

## A.4 Modélisation en TempSQL

### A.4.1 Schéma

TempSQL propose deux types de relations :

- les relations instantanées (*snapshot relation*) qui correspondent aux relations non temporelles classiques de SQL
- les relations temporelles (*temporal relation*).

Dans les relations temporelles TempSQL associe le temps de validité aux attributs. Cela simplifie sensiblement le schéma relationnel obtenu car il n'est plus nécessaire de multiplier les relations comme nous avons dû le faire pour SQL 2 et TSQL 2.

La manipulation d'expressions temporelles en TempSQL est basée sur la manipulation d'éléments temporels. L'opérateur  $\llbracket E \rrbracket$  définit la période de validité de l'expression E.

Le schéma relationnel TempSQL est le suivant :

#### Source (Agrement, Debit)

{ *temporal relation* }

{ Soit  $\langle a, d \rangle \in \text{Source}$  :

$\langle t, v \rangle \in a \iff$  la source a pour numéro d'agrément  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in d \iff$  le débit de la source  $a$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

et  $\llbracket a \rrbracket = \llbracket d \rrbracket$  }

#### Bouteille (Type, Volume, Production, Prix)

{ *temporal relation* }

{ Soit  $\langle y, l, o, i \rangle \in \text{Bouteille}$  :

$\langle t, v \rangle \in y \iff$  la bouteille a pour type  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in l \iff$  le volume de la bouteille  $y$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in o \iff$  la production de la bouteille  $y$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in i \iff$  le prix de la bouteille  $y$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

et  $\llbracket y \rrbracket = \llbracket l \rrbracket = \llbracket o \rrbracket = \llbracket i \rrbracket$  }

#### Camion (Immat, DateAchat, Ent\_Nature, Ent\_Prix, Cont\_Agrement, Cont\_Rem)

{ *temporal relation* }

{ Soit  $\langle i, d, n, p, a, r \rangle \in \text{Camion}$  :

$\langle t, v \rangle \in i \iff$  le camion a pour immatriculation  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in d \iff$  la date d'achat du camion  $i$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in n \iff$  la nature de l'entretien fait sur le camion  $i$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in p \iff$  le prix de l'entretien fait sur le camion  $i$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in a \iff$  l'agrément du contrôle fait sur le camion  $i$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in r \iff$  les remarques du contrôle fait sur le camion  $i$  sont  $v$  aux instants de  $t$ ,

et  $\llbracket i \rrbracket = \llbracket d \rrbracket = \llbracket n \rrbracket = \llbracket p \rrbracket = \llbracket a \rrbracket = \llbracket r \rrbracket$  }



LigneCom (NumCom, NumL, TypeB, Quantite)

{ snapshot relation }

{  $\langle c, l, t, q \rangle \in \text{LigneCom} \iff$  la ligne  $l$  de la commande  $c$  correspond à  $q$  exemplaires de bouteilles de type  $t$  }

LivraisonCom (Numero, Client, ImmatCamion)

{ snapshot relation }

{  $\langle n, c, i \rangle \in \text{LivraisonCom} \iff$  la commande de numéro  $n$  vient du client de nom  $c$ , et a été livrée par le camion d'immatriculation  $i$  }

Client (Nom, Directeur, Adresse, Telephone, Commandes)

{ temporal relation }

{ Soit  $\langle n, d, a, p, c \rangle \in \text{Client}$ :

$\langle t, v \rangle \in n \iff$  le client a pour nom  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in d \iff$  le directeur du client  $n$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in a \iff$  l'adresse du client  $n$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in p \iff$  le numéro de téléphone du client  $n$  est  $v$  est  $v$  aux instants de  $t$ ,

$\langle t, v \rangle \in c \iff$  la commande du client  $n$  est celle de numéro  $v$  aux instants de  $t$ ,

et  $\llbracket n \rrbracket = \llbracket d \rrbracket = \llbracket a \rrbracket = \llbracket p \rrbracket = \llbracket c \rrbracket$  }

La figure A.10 monte un exemple de valeur pour la relation Bouteille.

TempSQL impose une homogénéité temporelle des différents attributs. Cela contraint ici à définir une valeur de production et une valeur de prix à chaque instant de la période de validité de la bouteille.

| Type                        | Volume                 | Production   | Prix   |
|-----------------------------|------------------------|--|--|
| [1/1/1995Γnow]:<br>PlusSoif | [1/1/1995Γnow]:<br>115 | [1/1/1995]<br>∪ [1/5/1995]<br>∪ [14/7/1995]<br>∪ [15/8/1995]<br>∪ ... : 0<br>[11/7/1995]: 12500<br>[12/7/1995]: 13200<br>[13/7/1995]: 13200<br>[15/7/1995]: 12200<br>... | [1/1/1995Γ31/12/1995]: 1190<br>[1/1/1996Γ9/2/1996]: 2110<br>[10/2/1996Γnow]: 2 |

FIG. A.10 – Exemple de valeur pour la relation Bouteille

Nous ne donnons pas la définition du schéma en TempSQL car la syntaxe n'est pas fournie dans [GN93]

## A.4.2 Requêtes

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```
SELECT Immat, DateAchat, Ent_Nature, Ent_Prix
FROM Camion
```

Il n'est pas possible d'obtenir un TempSQL une projection sur les valeurs structurelles de la relation. Le résultat de cette requête est une relation temporelle.

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```
SELECT Immat, Ent_Nature, Ent_Prix
WHILE [[Ent_Nature ≠ 'vidange' ]]
{ La clause WHILE introduit la restriction temporelle, à la période donnée, de la relation
résultat. }
FROM Camion
```

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

```
SELECT Type, Prix
WHILE [1/1/1990, 1/12/1996]
FROM Bouteille
WHERE [[Prix ]] ⊆ [1/1/1990, 1/12/1996]
{ L'expression [[Prix ]] constitue le domaine temporel de l'attribut Prix du n-uplet traité. }
{ La condition permet de ne retenir que les n-uplets dont le prix est défini pendant tout
l'intervalle. }
```

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```
SELECT Directeur
WHILE [[Adresse= 'Paris' ]]
FROM Client
WHERE firstInstant ([[Commandes ]]) ≤ '31/12/1994'
{ La fonction firstInstant correspond au premier instant d'un élément temporel. }
```

**R.5** *Quand les bouteilles de type “PlusSoif” ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type “Zébu” ?*

```
[[SELECT P.Production
FROM Bouteille P, Bouteille Z
WHERE P.Type = 'PlusSoif' and Z.Type = 'Zébu'
AND P.Production > Z.Production ]]
```

Le jeu d’opérateurs proposé dans [GN93] ne permet pas de prendre en compte les instants où les bouteilles de type “PlusSoif” sont produites alors que celles de type “Zébu” ne le sont pas.

Dans TempSQL la sémantique du produit cartésien est celle de l’intersection (comme TSQL 2).

**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l’historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

```
SELECT Type, Production, Prix
WHILE [1/1/1997, 31/12/1997]
FROM Bouteille
```

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type “PlusSoif” lorsqu’elles coûtaient plus de 5 francs ?*

```
{ type du résultat : historique de productions }
SELECT Production
WHILE [[Prix > 5 ]]
FROM Bouteille
```

Pour donner la quantité globale produite du type de ces bouteilles il est nécessaire de disposer d’un opérateur de projection d’un historique selon ses valeurs structurelles afin d’appliquer dessus des opérations arithmétiques. Un tel opérateur n’est pas défini dans TempSQL.

**R.8** *Quel est l’historique des entretiens faits sur le camion immatriculé “735 AOC 38” depuis sa première vidange ?*

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client “Alimentation du maquis” juste après qu’il ait quitté Propriano ?*

Les requêtes R.8 et R.9 utilisant un raisonnement basé sur la succession dans le temps ne peuvent pas être exprimées avec les opérateurs définis dans [GN93].

## A.5 Modélisation en objets (O<sub>2</sub>)

### A.5.1 Schéma

Le schéma O<sub>2</sub> est obtenu simplement en traduisant les classes de la modélisation OMT en classe O<sub>2</sub>.

La gestion des historiques doit être faite dans la modélisation. Ceux-ci sont représentés à l'aide de séquences de couples <valeur, validite>. Dans le cas d'un historique discret la valeur de l'attribut est définie qu'aux instants datant les instantanés de son historique. Pour les historiques en escalier la valeur entre deux instantanés successifs (selon le temps de validité) est définie comme la valeur de l'instantané le plus ancien des deux.

Le fait de ne disposer en OQL que d'un seul type date à la granularité du jour ne permet pas de faire la différence entre les historiques observés à la granularité du jour et ceux observés à la granularité du mois.

Pour chaque classe nous avons défini une racine de persistance permettant de stocker puis d'accéder aux données.

Le schéma O<sub>2</sub> est le suivant :

```
class Source inherit Object
public type tuple (
  Agreement : string,
  Debit : list(tuple(
    Validite: date,
    Valeur: real)))
end ;

class Bouteille inherit Object
public type tuple (
  Type : string,
  Volume : real,
  Production : list(tuple(
    Validite: date,
    Valeur: integer)),
  Prix : list(tuple(
    Validite: date,
    Valeur: real)))
end ;

class Camion inherit Object
public type tuple (
  Immat : string,
  DateAchat : date,
  Entretien : list(tuple(
    Validite: date,
    Valeur: tuple(
      Nature: string,
      Prix: real))),
  Controle : list(tuple(
    Validite: date,
    Valeur: tuple(
      Agreement: string,
      Remarques: string))))
end ;

class Commande inherit Object
public type tuple (
  Numero : integer,
  Client : Client,
  Detail : list (tuple (
    TypeB : Bouteille,
    Quantite : integer)),
  Livraison : Camion)
end ;

class Client inherit Object
public type tuple (
```

|  |   |
|--|---|
| Nom: string,   | Validite: date,   |
| Directeur: list(tuple(<br>Validite: date,<br>Valeur: string)),   | Valeur: Commande)))   |
| Coordonnées: list(tuple(<br>Validite: date,<br>Valeur: tuple(<br>Adresse: string,<br>Téléphone: string))), | end ;   |
| Commandes: list(tuple(<br>   | name LaSource: Source ;<br>name LesBouteilles: set (Bouteille);<br>name LesCamions: set (Camion);<br>name LesClients: set (Client);<br>name LesCommandes: set (Commande); |

## A.5.2 Requêtes

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```
{ type du resultat : { < string, date, [<string, real>] > } }
SELECT TUPLE (immat: C.Immat,
              achat: C.DateAchat,
              entretiens: (SELECT TUPLE(nature: E.Valeur.Nature,
                                         prix: E.Valeur.Prix)
                           FROM E IN C.Entretien))
FROM C IN LesCamions
```

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```
{ type du resultat : { < string, [<date, string, real>] > } }
SELECT TUPLE(Immat: C.Immat,
              Entretiens: SELECT TUPLE(Nature: E.Nature,
                                       Prix: E.Prix,
                                       Validité: E.Validité)
                           FROM E IN C.Entretiens
                           WHERE E.Valeur.Nature ≠ 'vidange')
FROM C IN LesCamions
```

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

```
DEFINE PrixPériode AS
{ Cette requête permet de construire l'historique des prix des bouteilles dans [1/1/1990,
31/12/1996].
Le type du résultat est { < string, [<date, real>] > }. }
```

```

SELECT TUPLE(Type: B.Type,
              HistPrix: SELECT P1 FROM P1 IN B.Prix
                        { Ensemble des prix de bouteille modifiés dans la période. }
                        WHERE P1.Validite ≥ '1/1/1990'
                        AND P1.Validite ≤ '1/12/1996'
                        UNION
                        SELECT TUPLE(Validite: '1/1/1990',
                                    Prix: P2.Prix)
                        { Pour chaque type de bouteille, détermination du prix valide au
                          1/1/1990 (lorsqu'il est défini à cette date là). }
                        FROM P2 in B.Prix
                        WHERE P2.Validite = MAX(SELECT P3.Validite
                                              FROM P3 in B.Prix
                                              WHERE P3.Validite < '1/1/1990')
              )
FROM B IN LesBouteilles

```

Requête finale :

```

{ type du résultat: { < string, [<date, real>] > } }
SELECT H
FROM H IN PrixPériode
WHERE MIN(SELECT P.Validite FROM P IN H.HistPrix) = '1/1/1990'
AND FOR ALL H IN PrixPériode: H.Valeur ≠ nil

```

La requête finale permet de ne retenir que les types de bouteilles dont le prix est défini dès le premier instant de la période  $\Gamma$  et pendant toute la période.

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```

{ type du résultat: { < string, [<date, string>] > } }
SELECT TUPLE(Nom: C.Client,
              Directeur: SELECT D
                        FROM D IN C.Directeur
                        WHERE EXISTS A1 in C.Coordonnées :
                        (A1.Valeur.Adresse = 'Paris'
                        { La disjonction ci-dessous permet de sélectionner les
                          directeurs nommés lors d'un déménagement à Paris, ou
                          nommés lorsque le client était déjà à Paris, ou enfin déjà
                          en poste lors d'une déménagement du client à Paris. }
                        AND (A1.Validité = D.Validité
                        OR

```

```

A1.Validite < D.Validité
AND NOT EXISTS A2 IN C.Coordonnées :
(A2.Validité < D.Validité
AND A2.Validité > A1.Validité)
OR
A1.Validite > D.Validité
AND NOT EXISTS A2 IN C.Coordonnées :
(A2.Validité < A1.Validite
AND A2.Validité > D.Validité))

```

)

FROM C IN LesClients

WHERE EXISTS Com IN C.Commandes: Com.Validité < '31/12/1994'

**R.5** *Quand les bouteilles de type “PlusSoif” ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type “Zébu” ?*

{ type du résultat: { date } }

SELECT PPS.Validite

FROM PS IN LesBouteilles, Z IN LesBouteilles,

PPS IN PS.Production, PZ IN Z.Production

WHERE PS.Type = 'PlusSoif' AND Z.Type = 'Zébu'

AND PPS.Validite = PZ.Validite

AND PPS.Valeur > PZ.Valeur

{ La première partie de la requête permet de retenir les instants pendant lesquels la production des bouteilles de type “PlusSoif” est supérieure à celle des bouteilles de type “Zébu”. }

UNION

SELECT PPS.Validite

FROM PS IN LesBouteilles, PPS IN PS.Production

WHERE PS.Type = 'PlusSoif'

AND PPS.Validite NOT IN (SELECT PZ.Validite

FROM Z IN LesBouteilles, PZ IN Z.Production

WHERE Z.Type = 'Zébu')

{ La seconde partie de la requête permet de retenir les instants pendant lesquels le type de bouteilles “PlusSoif” est produit alors que le type “Zébu” ne l'est pas. }

**R.6** Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.

```
{ type du résultat: { < string, [<date, integer>], [<date, real>] > } }
SELECT TUPLE(Type: B.Type,
              Production: SELECT P
                          FROM P IN B.Production
                          WHERE P.Validite ≥ '1/1/1997' AND P.Validite ≤ '31/12/1997',
              { Historique de la production pendant l'intervalle donné. }
              Prix: SELECT P
                   FROM P IN B.Prix
                   WHERE P.Validite > '1/1/1997' AND P.Validite ≤ '31/12/1997'
                   UNION
                   SELECT TUPLE (Validite: '1/1/1997',
                                Valeur: P.Valeur)
                   FROM P IN B.Prix
                   WHERE P.Validite = MAX (SELECT P.Validite
                                           FROM P IN B.Prix
                                           WHERE P.Validite ≤ '1/1/1997'))
              { Historique des prix pendant l'intervalle donné. Le prix au '1/1/1997'
                est calculé explicitement car il peut être défini à une date antérieure.
              }
FROM B IN LesBouteilles
```

**R.7** Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?

```
{ type du résultat: integer }
SUM(SELECT Prod.Valeur
     FROM B IN LesBouteilles, Prod IN B.Production, Prx in B.Prix
     WHERE B.Type = 'PlusSoif'
     AND Prx.Valeur > 5
     { La disjonction ci-dessous permet de déterminer le prix d'une bouteille à chaque instant
       où une valeur de sa production est donnée. Les n-uplets retenus sont ceux pour lesquels
       le prix correspond à l'instant de la production, soit t1, que le prix ait été changé à cet
       instant où à un instant précédent, soit t2 (sans autre modification de prix entre t1 et
       t2). }
     AND (Prx.Validite = Prod.Validite
         OR
         Prx.Validite < Prod.Validite
         AND NOT EXISTS Prx2 IN B.Prix :
             Prx2.Validité > Prx.Validité
             AND Prx2.Validité < Prod.Validité))
```



**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

{ type du résultat : [ string ] }

```
SELECT E1.Valeur
FROM C IN LesCamions, E1 IN C.Entretien
WHERE C.Immat = '735 AOC 38'
AND E1.Validité > MIN(SELECT E2.Validité
                       FROM E2 IN C.Entretien
                       WHERE E2.Valeur.Nature = 'vidange')
```

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client "Alimentation du maquis" juste après qu'il ait quitté Propriano ?*

{ type du résultat : [ string ] }

```
SELECT CC2.Valeur.Adresse
FROM C IN LesClients, CC1 IN C.Coordonnées, CC2 IN C.Coordonnées
WHERE C.Nom = 'Alimentation du maquis'
AND CC1.Valeur.Adresse = 'Propriano'
AND CC2.Validite > CC1.Validite
AND NOT EXISTS CC3 IN C.Coordonnées :
    (CC3.Validité > CC1.Validité AND CC3.Validité < CC2.Validité)
```

## A.6 Modélisation en TOOSQL

### A.6.1 Schéma

TOOSQL est un langage de requêtes temporel défini dans le contexte d'un modèle à objets temporels et dont la syntaxe est proche de celle de SQL. Des concepts supportés par le modèle nous ne décrivons que ceux qui sont nécessaires à la compréhension des requêtes.

Le temps est associé aux attributs par l'intermédiaire de séquences temporelles (*time sequence*, *TS*). Un attribut historique est un attribut dont le type est une séquence temporelle paramétrée par le type de sa valeur structurée :  $AH : TS(\text{valeur} : T)$ .

Les séquences temporelles sont séquences de triplets  $\langle \text{val}, \text{tv}, \text{tt} \rangle$  : l'attribut a pour valeur **val** pendant l'intervalle **tv** du monde réel et ceci est enregistré dans la base à l'instant **tt**. Les séquences temporelles sont des historiques bitemporels.

Le temps de transaction est fixé implicitement au moment où la requête est évaluée. Une clause particulière (la clause **Rollback**) permet de fixer explicitement cet instant.

Nous donnons ci-dessous le schéma de notre base de données exemple dont les historiques sont modélisés à l'aide de séquences temporelles.

Source :  $\langle \text{Agrement} : \text{string}, \text{Debit} : TS(\text{real}) \rangle$

$\{ \langle a, Hb \rangle \in \text{Source} \iff \text{la source a pour numéro d'agrément } a \text{ et } Hb \text{ est la séquence temporelle de l'historique de son débit} \}$

Bouteille :  $\langle \text{Type} : \text{string}, \text{Volume} : \text{real}, \text{Production} : TS(\text{integer}), \text{Prix} : TS(\text{real}) \rangle$

$\{ \langle t, v, Ho, Hi \rangle \in \text{Bouteille} \iff \text{la bouteille de type } t \text{ a pour volume } v, Ho \text{ est la séquence temporelle de l'historique de sa production et } Hi \text{ est la séquence temporelle de l'historique de son prix} \}$

Camion :  $\langle \text{Immat} : \text{string}, \text{DateAchat} : \text{date},$

$\text{Entretien} : TS(\langle \text{Nature} : \text{string}, \text{Prix} : \text{real} \rangle),$

$\text{Controle} : TS(\langle \text{Agrement} : \text{string}, \text{Remarques} : \text{string} \rangle) \rangle$

$\{ \langle i, d, He, Hc \rangle \in \text{Camion} \iff \text{le camion de numéro d'immatriculation } i \text{ a été acheté à la date } d \text{ et } He \text{ est la séquence temporelle de l'historique de ses visites d'entretiens et } Hc \text{ est la séquence temporelle de l'historique de ses contrôles techniques} \}$

Commande :  $\langle \text{Numero} : \text{integer}, \text{Client} : \text{Client},$

$\text{Lignes} : [\langle \text{TypeB} : \text{Bouteille}, \text{Quantite} : \text{integer} \rangle],$

$\text{Camion} : \text{Camion} \rangle$

$\{ \langle n, c, l, o \rangle \in \text{Commande} \iff \text{la commande de numéro } n \text{ concerne le client } c, \text{ est constitué des lignes de commandes } l \text{ et sa livraison est effectuée par le camion } o \}$

Client : < Nom: string, Directeur: TS(string),  
 Coordonnées: TS(<Adresse: string, Téléphone: string>),  
 Commandes: TS(Commande) >  
 { < n, Hd, Ho, Hc > ∈ Client ⇔ pour le client de nom n, les séquences temporelles Hd, Ho, Hc correspondent aux historiques de ses directeurs, de ses coordonnées et de ses commandes }

Dans ce modèle les noms de classe désignent aussi leur extension.

## A.6.2 Requêtes

**R.1** Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).

{ type du résultat : { < string, date, [<string, real>] > } }  
 SELECT C.Immat, C.DateAchat, C.Entretien  
 { l'expression C.Entretien construit la séquence des valeurs structurales de l'attribut Entretien (une séquence temporelle) de l'objet C. }  
 FROM C:Camion

**R.2** Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.

{ type du résultat : { < string, TS(<string, real>) > } }  
 SELECT C.Immat, C.Entretien.History  
 { La méthode History appliquée à un attribut historique désigne sa séquence temporelle. }  
 FROM C:Camion  
 WHERE C.Entretien.Nature ≠ 'vidange'

La condition de la clause WHERE exclut du résultat tous les éléments de la séquence temporelle qui ne correspondent pas à des vidanges.

**R.3** Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.

{ type du résultat : { < string, TS(prix) > } }  
 SELECT B.Type, B.Prix.History  
 FROM B:Bouteille  
 TIME-SLICE [1/1/1990..1/12/1996]  
 { La clause TIME-SLICE restreint le résultat aux n-uplets valides pendant la période donnée }  
 WHERE B.Prix.Duration(vt).Sum = Duration([1/1/1990..1/12/1996])  
 { La méthode Duration(vt) appliquée à un attribut historique construit les durées de chaque intervalle de la séquence temporelle associée. La méthode Sum effectue la somme de ces durées }

Nous prenons ici pour hypothèse que la restriction temporelle introduite par la clause TIME-SLICE est effectuée avant l'évaluation de la condition de la clause WHERE.

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```
{ type du résultat: { < string, TS(string) > } }
SELECT C.Nom, C.Directeur.History
FROM C:Client
WHEN C.Commandes.First ≤ '31/12/1994'
    { La clause WHEN introduit une sélection temporelle. }
    { La méthode First, appliquée à un attribut historique, donne la valeur temporelle la plus
      ancienne de la séquence temporelle correspondante }
TIME-SLICE (SELECT CC.Adresse.vt
            FROM CC:Client
            WHERE CC.Nom = C.Nom AND CC.Adresse = 'Paris')
```

La sous-requête construit l'ensemble des intervalles de temps pendant lesquels l'adresse du client est Paris. La clause TIME-SLICE permet de restreindre l'historique résultat à ces intervalles.

**R.5** *Quand les bouteilles de type "PlusSoif" ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type "Zébu" ?*

```
{ type du résultat: { instants } }
SELECT P.Production.vt
FROM P:Bouteille, Z:Bouteille
WHERE P.Type = 'PlusSoif' AND Z.Type = 'Zébu'
AND Z.Production.vt.Equals (P.Production.vt)
AND P.Production > Z.Production
UNION
SELECT P.Production.vt
FROM P:Bouteille
WHERE P.Type = 'PlusSoif'
WHEN P.Production.vt NOT IN (SELECT Z.Production.vt
                             FROM Z:Bouteille
                             WHERE Z.Type = 'Zébu')
```

Dans la deuxième sous-requête la clause WHEN permet de ne retenir que les instants où les bouteilles de type "PlusSoif" sont produites alors que celles de type "Zébu" ne le sont pas.

**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

```
{ type du résultat: { < string, TS(integer), TS(real) > } }  
SELECT B.Type, B.Production.History, B.Prix.History  
FROM B:Bouteille  
TIME-SLICE [1/1/997, 31/12/1997]
```

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type "PlusSoif" lorsqu'elles coûtaient plus de 5 francs ?*

```
{ type du résultat: integer }  
SELECT B.Production.Sum  
FROM B:Bouteille  
WHERE B.Type = 'PlusSoif'  
AND B.Prix > 5
```

**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé "735 AOC 38" depuis sa première vidange ?*

```
{ type du résultat: { < TS(<string, real>) > } }  
SELECT C.Entretien.History  
FROM C:Camion  
WHERE C.Immat = '735 AOC 38'  
WHEN C.Entretien.vt.Follows (SELECT CC.Entretien.vt.First  
FROM CC:Camion  
WHERE CC.Immat = C.Immat  
AND CC.Entretien = 'vidange')
```

*{ La méthode Follows s'applique entre deux intervalles et déterminent si le premier est après le second. }*

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client “Alimentation du maquis” juste après qu’il ait quitté Propriano ?*

*{ type du résultat: { string } }*

SELECT C.Adresse

FROM C:Client

WHERE C.Nom = 'Alimentation du maquis'

WHEN C.Adresse.vt.Follows (SELECT CC.Adresse.vt

FROM CC:Client

WHERE CC.Nom = C.Nom AND CC.Adresse = 'Propriano')

*{ Cette première condition permet de ne sélectionner que les adresses après que le client ait quitté Propriano. }*

AND NOT EXISTS (SELECT \*

FROM CCC:Client

WHERE CC.Nom = CCC.Nom

WHEN CCC.Adresse.vt.Follows (C.Adresse.vt)

AND CC.Adresse.vt.Follows (CCC.Adresse.vt))

*{ Cette seconde condition permet de ne retenir que les adresses correspondant à l’adresse où a déménagé le client, juste après avoir quitté Propriano. }*

## A.7 Modélisation en Tempos

### A.7.1 Schéma

Les classes sont obtenues directement issues de la modélisation OMT.

TEMPOS propose différents statuts d'évolution pour les attributs (Cf. section 3.1) :

- Constant (T) : la valeur de l'attribut de type T n'évolue pas.
- Fugitif (T) : pour l'attribut de type T seule la valeur de la dernière mise à jour est stockée.
- Historique (u,T) : l'attribut est de type T ses valeurs sont historisées et les estampilles temporelles sont de granularité u.

La définition des classes TEMPOS est la suivante :

```
class Source inherit Object
public type tuple (
    Agrement : Constant (string),
    Debit : Historique (heure, real))
end ;

class Bouteille inherit Object
public type tuple (
    Type : Constant (string),
    Volume : Fugitif (real),
    Production : Historique (jour, integer),
    Prix : Historique (jour, real))
end ;

class Camion inherit Object
public type tuple (
    Immat : Constant (string),
    DateAchat : Fugitif (Instant (jour)),
    Entretien : Historique (jour,
        tuple(Nature: string, Prix: real)),
    Controle : Historique (mois,
        tuple(Agrement: string,
            Remarques: string)))
end ;
```

```
class Commande inherit Object
public type tuple (
    Numero : Constant (integer),
    Client : Fugitif (Client),
    Détail : Fugitif (list (tuple (
        TypeB: Bouteille,
        Quantite: integer)))
    Livraison : Fugitif (Camion))
end ;

class Client inherit Object
public type tuple (
    Nom : Constant (string),
    Directeur : Historique (Jour, string),
    Coordonnées : Historique (Jour,
        tuple(adresse: string, telephone: string)),
    Commandes : Historique (jour, Commande))
end ;

name LaSource : Source ;
name LesBouteilles : set (Bouteille) ;
name LesCamions : set (Camion) ;
name LesClients : set (Client) ;
name LesCommandes : set (Commande) ;
```

## A.7.2 Requêtes

Les opérations de consultation de TEMPOS sont définies dans la section 3.2 et les fonctions de manipulation de séquences le sont dans l'annexe C.

**R.1** *Pour chaque camion, donner son numéro, sa date d'achat et l'ensemble des visites d'entretiens qu'il a subi (nature et coût).*

```
{ type du résultat : { <numero : string, dateach : instant, ent : { tuple(string, real) } > } }  
SELECT TUPLE (numero : c.lmmat, dateach : c.DateAchat, ent : DomS(c.Entretien))  
FROM c IN LesCamions
```

**R.2** *Pour chaque camion, donner son numéro et l'historique de ses visites d'entretien (nature et coût) lorsqu'il ne s'agissait pas de vidanges.*

```
{ type du résultat : { <immat : string, ent : Chronique (mois, tuple(string, real)) > } }  
SELECT TUPLE (immat : c.lmmat,  
              ent : c.Entretien [ si λv • v.Nature ≠ 'Vidange'  
FROM c IN LesCamions  
WHERE (c.Entretien [ si λv • v.Nature ≠ 'Vidange') ≠ ∅
```

**R.3** *Pour chaque type de bouteille en vente pendant tout l'intervalle [1/1/1990..1/12/1996], donner son nom et l'historique de ses prix, restreint à cet intervalle.*

```
{ type du résultat : { <type : string, prix : Chronique (jour, real) > } }  
SELECT TUPLE (type : b.Type,  
              prix : b.Prix [ en ['1-1-1990'..'1-12-1996'] )  
FROM b IN LesBouteilles  
WHERE (b.Prix [ en ['1-1-1990'..'1-12-1996'] ) ≠ ∅
```

**R.4** *Pour chaque client (connu depuis 1994), donner son nom et l'historique de ses directeurs lorsque ce client se trouvait situé à Paris.*

```
{ type du résultat : { <nom : string, dir : Chronique (jour, string) > } }  
SELECT TUPLE (nom : c.Nom,  
              dir : c.Directeur [ en LesInstants (c.Coordonnees, λa • a.adresse = 'Paris') )  
FROM c IN LesClients  
WHERE DomT (c.Commandes)- ≤ (@'31-12-1994')  
      { L'historique résultat est vide pour les clients n'ayant pas été à Paris. }
```



**R.5** *Quand les bouteilles de type “PlusSoif” ont-elles été produites en plus grande quantité que les bouteilles de type “Zébu” ?*

{ type du résultat: {Instant (jour)} }

```
SELECT LesInstants ((p.Production *∩ z.Production), λ<pp, pz> • pp > pz)
FROM p IN LesBouteilles, z in LesBouteilles
WHERE p.Type = 'PlusSoif' and z.Type = 'Zébu'
```

**R.6** *Pour chaque type de bouteille vendu et produit pendant 1997, donner son nom et l'historique, restreint à cette période, de sa production et de son prix.*

{ type du résultat: {<type: string, prixprod: Chronique (jour, <integer, real>)>} }

```
SELECT TUPLE (type: b.Type,
              prixprod: ((b.Production [si Est_non_Nil) *∩ (b.Prix [si Est_non_Nil])
                        [en ['1/1/1997', '31/12/1997']])
FROM b IN Les Bouteilles
```

**R.7** *Combien a-t-on produit de bouteilles de type “PlusSoif” lorsqu’elles coûtaient plus de 5 francs ?*

{ type du résultat: integer }

```
SELECT Agrégation (l_Chr (b.Production [en LesInstants (b.Prix, λx • x > 5)),
                  0, λacc, i • acc + VS (i))
FROM b IN LesBouteilles
WHERE b.Type = 'PlusSoif'
```

**R.8** *Quel est l'historique des entretiens faits sur le camion immatriculé “735 AOC 38” depuis sa première vidange ?*

{ type du résultat: X\_chronique (jour, tuple(string, real)) }

```
SELECT LaFin (c.Entretien, λx • VS (x).Nature = 'Vidange')
FROM c in LesCamions
WHERE c.Immat = '735 AOC 38'
```

**R.9** *A quelle(s) adresse(s) a déménagé le client “Alimentation du maquis” juste après qu’il ait quitté Propriano ?*

{ type du résultat: [string] }

```
SELECT Application (
                  Sélection (LesCouples (X_Hist (c.Coordonnees)),
                              λ<i1, i2> • VS(i1).Adresse = 'Propriano' ∧ VS(i2).Adresse ≠ 'Propriano'),
                  λ<i1, i2> • VS (i2.Adresse)
FROM c IN LesClients
WHERE c.Nom = 'Alimentation du maquis'
```

# Annexe B

## Application : séries chronologiques

L'application du modèle TEMPOS aux séries chronologiques a été fait en collaboration avec Marie-Claude Quidoz dans le cadre de son mémoire d'ingénieur CNAM [Qui97].

### B.1 Position du problème

#### B.1.1 Séries chronologiques

Une série chronologique est une suite de valeurs dans le temps. Les séries chronologiques sont utilisées en économie pour représenter des statistiques sur des entités évoluant dans le temps (comme par exemple la population, un parc de voiture, la consommation de pétrole, etc.). La figure B.1 est un exemple de série sur le parc automobile en Turquie.

Une série chronologique est caractérisée par :

- Un identifiant
- Un ensemble de caractéristiques générales (comme la source de la série, sa date de saisie, l'unité des valeurs, son degré de fiabilité, etc.)
- Un calendrier définissant le domaine temporel de la série
- Une liste de valeurs (éventuellement annotées).

La liste des valeurs correspond à l'historique des valeurs du domaine de la série. Certaines valeurs peuvent ne pas être diffusées (pour raison de confidentialité par exemple). Dans ce cas, la valeur est notée **na** (non accessible).

|                   |                    |         |            |
|-------------------|--------------------|---------|------------|
| Identifiant       | car.tur.u.irf.1977 |         |            |
| Date élaboration  | 15/03/1996         |         |            |
| Source            | irf                |         |            |
| Date parution     | 1977               |         |            |
| Sujet             | Parc automobile    |         |            |
| Zone géographique | Turquie            |         |            |
| Unité             | Véhicules          |         |            |
| Observation       |                    |         |            |
| Périodicité       | Annuelle           |         |            |
| Date de début     | 1972               |         |            |
| Données           | Date               | Valeur  | Annotation |
|                   | 1972               | 185 266 |            |
|                   | 1973               | 234 577 | estimation |
|                   | 1974               | 303 845 |            |
|                   | 1975               | 419922  |            |
|                   | 1976               | 512 380 |            |

FIG. B.1 – Exemple de série chronologique

### B.1.2 Différents types de séries

Il existe trois catégories de séries chronologiques :

- Les *séries brutes* sont diffusées par les producteurs de données et sont intégrées telles quelles dans le système de gestion des séries (que ce soit un SGBD ou un logiciel spécifique).
- Les *séries unifiées* correspondent à une première étape de modification des séries mais les données ne sont pas interprétées. Il s'agit plutôt de modification de forme (comme le changement de périodicité (cumul des mois pour passer en années) ou d'unité (passer de miles<sup>2</sup> en km<sup>2</sup>) voire la fusion de deux séries de domaines temporels différents (par exemple passer d'une série de 1970 à 1980 et d'une série de 1981 à 1990 à une seule série de 1970 à 1990). Dans tous les cas les opérations réalisées dans ce cadre correspondent à des opérations bien précises.
- Les *séries dérivées* sont construites à partir de séries unifiées ou d'autres séries dérivées à l'aide d'équations mathématiques. La validation des modèles utilisés est faite par un expert.

### B.1.3 Modélisation OMT des séries

La figure B.2 montre pour la structuration des séries et les liens qui existent entre les différentes séries.

Quelle que soit le type d'une série celle-ci est composée d'un descriptif (caractérisant la série) et de données (représentant l'historique des valeurs). La structure des descriptifs et des données est décrit dans la figure B.3

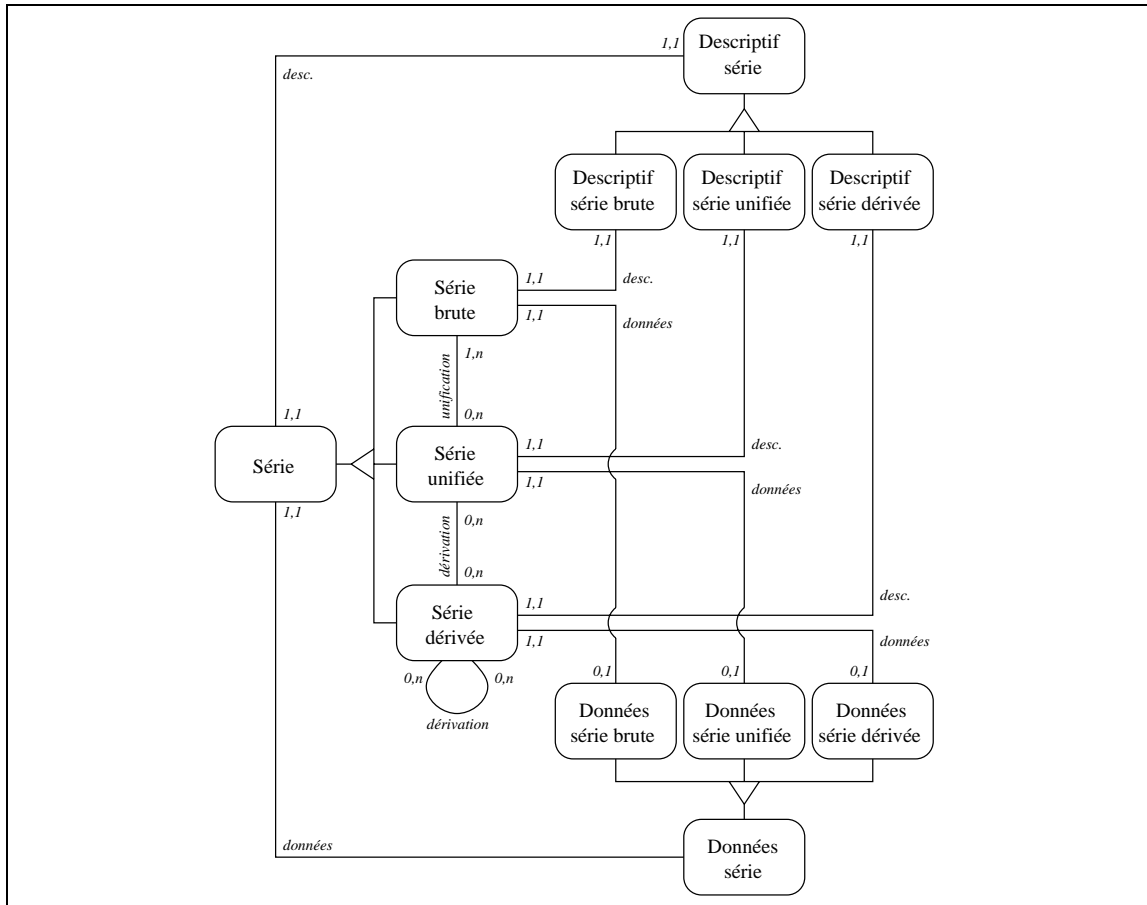
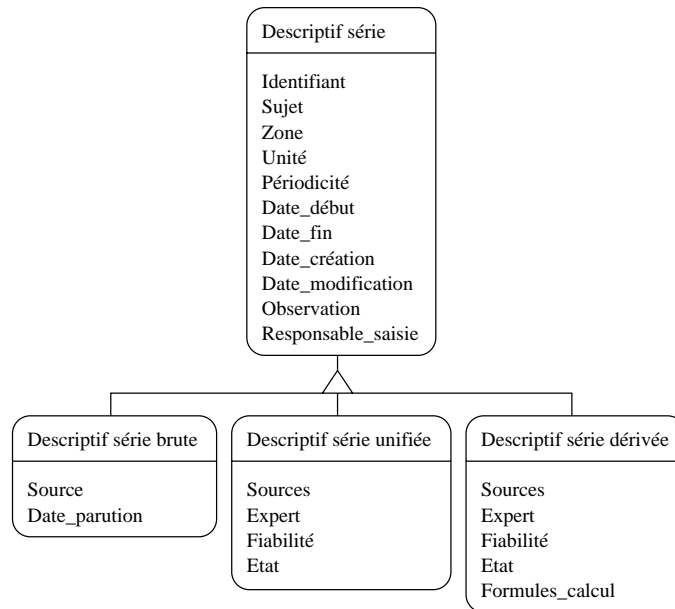
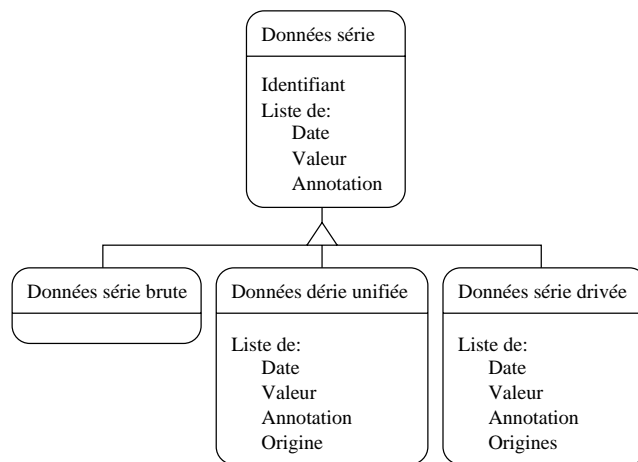


FIG. B.2 – Modélisation OMT des séries



(a) Structure des descriptifs



(b) Structure des données

FIG. B.3 – Structure des descriptifs et des données de séries

## B.2 Séries chronologiques et Tempos

### B.2.1 Représentation des séries dans Tempos

Les valeurs saisies d'une série brute forment une chronique. Les valeurs inconnues (notées `na`) sont explicitement saisies par l'utilisateur. Il s'agit de valeurs effectives : l'utilisateur sait que cette valeur est inaccessible.

La présentation habituelle des séries se fait à domaine temporel convexeΓaussiΓpour masquer les discontinuités éventuelles de la saisieΓil est possible de modéliser une série brute à l'aide d'un historique discretΓayant un domaine temporel allant de la première à la dernière valeur effective. De cette manièreΓles valeurs non saisies seront interprétées comme des valeurs absentes (Cf. figure B.4).

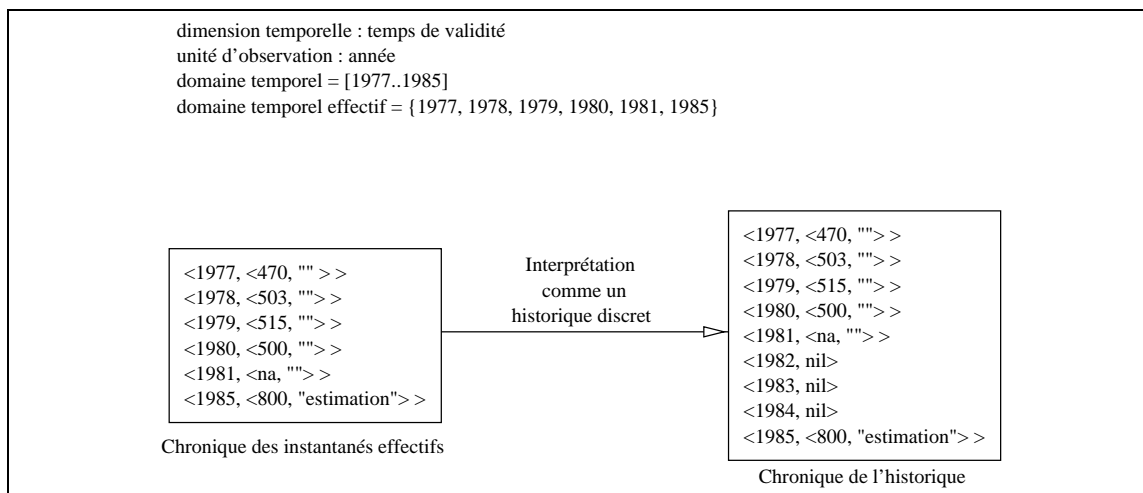


FIG. B.4 – Représentation d'une série brute

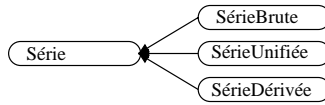
### B.2.2 Extension de Tempos

Afin de modéliser les séries chronologiques dans TEMPOSΓnous ajoutons de nouveaux typesΓdéfinis dans la figure B.5.

Les types `Donnée`Γ`DonnéeBrute`Γ`DonnéeUnifiée`Γ`DonnéeDérivée` permettent de décrire les données des diverses séries.

De même `Descriptif (u)`Γ`DescriptifBrut (u)`Γ`DescriptifUnifié (u)` et `DescriptifDérivé (u)` correspondent aux caractéristiques générales des séries. Ces types sont paramétrés par une unité d'observation du temps qui correspond habituellement à la périodicité des séries. Les attributs `Instant(Jour)` correspondent aux dates de création et de modification qui sont observées à la granularité du jour.

Les informations temporelles habituellement enregistrées dans les séries (dates de début et de fin des valeurs dans le descriptifΓdate de chaque valeur dans les données) ne



(a) Hiérarchie des types

TYPE DescriptifBrut(u) : < Sujet, Zone, Unité, u, Instant(Jour), Instant(Jour),  
texte, Personne, Source, Instant(jour) >

{ *Descriptif caractérisant une série brute* }

TYPE DescriptifUnifié(u) : < Sujet, Zone, Unité, u, Instant(Jour), Instant(Jour),  
texte, Personne, [Source], Personne, texte, texte >

{ *Descriptif caractérisant une série unifiée* }

TYPE DescriptifDérivé(u) : < Sujet, Zone, Unité, u, Instant(Jour), Instant(Jour),  
texte, Personne, [Source], Personne, texte, texte,  
[ < Intervalle(u), texte > ] >

{ *Descriptif caractérisant une série dérivée* }

TYPE Descriptif(u) : DescriptifBrut(u)  $\cup$  DescriptifUnifié(u)  $\cup$  DescriptifDérivé(u)

TYPE DonnéeBrute : < réel, texte >

{ *Les données des séries brutes sont des couples < valeur,  
annotation >* }

TYPE DonnéeUnifiée : < réel, texte, texte >

{ *Les données des séries brutes sont des triplets < valeur,  
annotation, origine >* }

TYPE DonnéeDérivée : < réel, texte, [texte] >

{ *Les données des séries brutes sont des triplets < valeur,  
annotation, liste d'origines >* }

TYPE Donnée : DonnéeBrute  $\cup$  DonnéeUnifiée  $\cup$  DonnéeDérivée

TYPE Série(u) : < Descriptif(u), HistDiscret(u, Donnée) >

{ *Une série chronologique à l'unité u est constituée d'un  
descriptif et d'un historique discret de données observé à  
l'unité u* }

TYPE SérieBrute(u) : < DescriptifBrut(u), HistDiscret(u, DonnéeDrute) >

{ *Spécialisation pour les séries brutes* }

TYPE SérieUnifiée(u) : < DescriptifUnifié(u), HistDiscret(u, DonnéeUnifiée) >

{ *Spécialisation pour les séries unifiées* }

TYPE SérieDérivée(u) : < DescriptifDérivé(u), HistDiscret(u, DonnéeDérivée) >

{ *Spécialisation pour les séries dérivées* }

(b) Description des types relatifs aux séries

FIG. B.5 – Types de TEMPOS pour les séries

sont plus représentées explicitement dans les types de TEMPOS. Elles sont déduites de l'historique.

Enfin les types Série, SérieBrute, SérieUnifiée et SérieDérivée représentent les différents types de séries chronologiques. Elles sont constituées d'un descriptif et d'un historique discret de données observé dans l'unité correspondant à leur périodicité.

### B.2.3 Exemples de requêtes sur les séries

Nous supposons ici disposer d'une base où se trouvent des données relatives à un grand nombre de séries. L'accès à ces données se fait par la racine de persistance LesSeries.

1. Valeur des séries relatives au prix du pétrole entre 1980 et 1990 :

```
SELECT TUPLE (serie: S.Identifiant,  
              val8090: S.Données [en [@'1980'..'@'1990']])  
FROM S IN LesSeries  
WHERE S.Descriptif.Sujet = 'prix du pétrole'
```

2. Valeur des séries relatives au prix du pétrole depuis 1985 :

```
SELECT TUPLE (serie: S.Identifiant,  
              val85: LaFin(S.Données, λvt • vt = '@'1985'))  
FROM S IN LesSeries  
WHERE S.Descriptif.Sujet = 'prix du pétrole'
```

3. Date de la première valeur de la série identifiée par pétrole.fr :

```
SELECT DomT(S.Données)  
FROM S IN LesSeries  
WHERE S.Descriptif.Identifiant = 'pétrole.fr'
```

4. Années pour lesquelles les valeurs de la série identifiée par pétrole.fr sont supérieures à 100 francs/baril :

```
SELECT LesInstants (S.Données, λvs • vs.Valeur > 100)  
FROM S in LesSeries  
WHERE S.Descriptif.Identifiant = 'pétrole.fr'
```

5. Années pour lesquelles les valeurs de la série identifiée par pétrole.fr sont supérieures à celles de la série identifiée par gaz.fr :

*{ Nous ne considérons ici que les années où les deux valeurs sont connues et accessibles (différentes de na). Pour cela, nous éliminons d'abord les valeurs na et ensuite nous faisons un produit interne entre les deux historiques }*



```

SELECT LesInstants ((S1.Données [si λvs • vs.Valeur ≠ na
                    * S2.Données [si λvs • vs.Valeur ≠ na),
                    λ < vs1, vs2 > • vs1.Valeur > vs2.Valeur)
FROM S1 IN LesSeries, S2 IN LesSeries
WHERE S1.Descriptif.Identifiant = 'pétrole.fr'
AND S2.Descriptif.Identifiant = 'gaz.fr'

```

## B.2.4 Bilan

Les séries chronologiques sont un cas bien particulier d'historiques. Les données sont périodiques (presque toujours à la même unité) et le domaine temporel est un intervalle.

Nous n'avons pas mis en œuvre dans cette application toutes les fonctionnalités relatives au modèle du temps (manipulation de différentes valeurs temporelles, multigranularité, etc.).

Par contre, nous avons utilisé le modèle d'historiques pour représenter les différents types de séries chronologiques. TEMPOS est un modèle très général et son utilisation pour les séries n'a donc pas posé de difficulté. L'expression de requêtes significatives dans le domaine se fait sans problème avec les opérateurs fournis.

L'utilisation des valeurs non accessibles est un besoin spécifique aux séries chronologiques. En tant que tel, il est pris en charge par l'application. Il s'agit du problème général lié aux interprétations multiples des valeurs absentes. Ces interprétations dépendent fortement du domaine concerné et ne peuvent être intégrées dans le modèle.

L'application de TEMPOS aux séries chronologiques permet de valider le modèle sur un cas concret. Il serait intéressant de prolonger cette collaboration avec Marie-Claude Quidoz et l'IEPE pour approfondir cette expérimentation et la mener en vraie grandeur.

# Annexe C

## Manipulation de séquences

Nous décrivons ici les notations concernant les séquences et nous définissons un ensemble de fonctions permettant de les manipuler [SFLM93].

### C.1 Constructeurs et sélecteurs de base

$T$  étant un type  $\Gamma[T]$  dénote le type **séquence de  $T$** . La séquence vide est notée  $[]$ . Elle est caractérisée par le prédicat  $\text{EstVide?}$ . L'opérateur de concaténation de deux séquences est noté  $\&$ . De plus  $\Gamma$  une séquence peut être construite par ajout d'un élément à droite ou à gauche d'une séquence :

- Au constructeur d'ajout à gauche  $\Gamma$  noté  $\circ\Gamma$  sont associés les sélecteurs nommés **premier** et **fin** (tout sauf le premier) :

$$\begin{aligned}\text{premier}(e\circ S) &= e \\ \text{fin}(e\circ S) &= S \\ \neg \text{EstVide?}(S) \Rightarrow \text{premier}(S)\circ\text{fin}(S) &= S\end{aligned}$$

- Au constructeur d'ajout à droite  $\Gamma$  noté  $\bullet\Gamma$  sont associés les sélecteurs nommés **dernier** et **début** (tout sauf le dernier) :

$$\begin{aligned}\text{début}(S\bullet e) &= S \\ \text{dernier}(S\bullet e) &= e \\ \neg \text{EstVide?}(S) \Rightarrow \text{début}(S)\bullet\text{dernier}(S) &= S\end{aligned}$$

### C.2 Fonctions sur les séquences

Nous définissons ici quelques itérateurs sous forme fonctionnelle par récurrence ( $T$  et  $T'$  dénotent des types).

- Application d'une fonction  $f$  aux éléments d'une séquence.

Application :  $[T], (T \rightarrow T') \rightarrow [T']$

{ Application  $([e_1, e_2, \dots, e_n], f) = [f(e_1), f(e_2), \dots, f(e_n)]$ ; Application  $([], f) = []$  }

(1) Application  $([], f) = []$

(2) Application  $(e \circ S, f) = f(e) \circ$  Application  $(S, f)$

- Sélection : sélection des éléments d'une séquence vérifiant un prédicat  $P$ .

Sélection :  $[T], (T \rightarrow \text{booléen}) \rightarrow [T]$

{ Sélection  $(S, P) = [e \mid e \in S \wedge P(e)]$  }

(1) Sélection  $([], P) = []$

(2) Sélection  $(e \circ S, P) = (\text{si } P(e) \text{ alors } [e] \text{ sinon } []) \& \text{ Sélection}(S, P)$

- Sélection et Application : application d'une fonction  $f$  aux éléments vérifiant une propriété  $P$ .

Appli\_Sel :  $[T], (T \rightarrow \text{booléen}), (T \rightarrow T') \rightarrow [T']$

{ Appli\_Sel  $(S, P, f) = \text{Application}(\text{Sélection}(S, P), f)$  }

(1) Appli\_Sel  $([], P, f) = []$

(2) Appli\_Sel  $(e \circ S, P, f) = (\text{si } P(e) \text{ alors } [f(e)] \text{ sinon } []) \& \text{ Appli_Sel}(S, P)$

- Agrégation : une fonction  $f$  est appliquée de manière cumulative aux éléments d'une séquence  $\Gamma$  de gauche à droite.

Agrégation :  $[T], T', (T', T \rightarrow T') \rightarrow T'$

{ Agrégation  $([e_1, e_2, \dots, e_n], B, Op) = Op(Op(..Op(Op(B, e_1), e_2), \dots), e_n)$  ;

Agrégation  $([], B, OP) = B.$  }

(1) Agrégation  $([], B, f) = B$

(2) Agrégation  $(S \bullet e, B, f) = f(\text{Agrégation}(S, B, f), e)$

- Les couples : liste des couples successifs de la séquence.

LesCouples :  $[T] \rightarrow [ \langle T, T \rangle ]$

{ LesCouples  $([e_1, e_2, \dots, e_n]) = [ \langle e_1, e_2 \rangle, \langle e_2, e_3 \rangle, \dots, \langle e_{n-1}, e_n \rangle ]$

LesCouples  $([e_1]) = [ ]$ ; LesCouples  $([]) = [ ]$  }

(1) LesCouples  $([ ]) = [ ]$

(2) LesCouples  $([e]) = [ ]$

(3) LesCouples  $([e_1, e_2] \& S) = \langle e_1, e_2 \rangle \circ \text{LesCouples}(e_1 \circ S)$

- Découpage d'une séquence selon une propriété: une séquence est découpée en deux parties selon une propriété  $P$ . Le point de séparation est le premier élément vérifiant  $P$  (de gauche à droite).

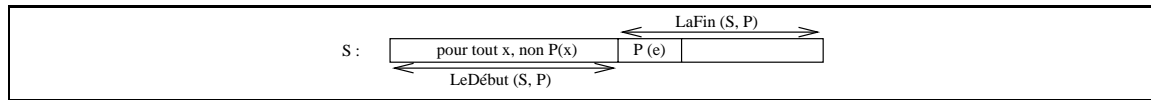


FIG. C.1 – Découpage d'une séquence selon une propriété

**LeDébut** :  $[T], (T \rightarrow \text{booléen}) \rightarrow [T]$

{ *LeDébut* ( $S, P$ ) est la séquence de début de  $S$  comprise entre le premier élément de  $S$  (inclus) et le premier élément de  $S$  vérifiant  $P$  (exclu). *LeDébut* ( $S, P$ ) est  $S$  si  $S$  ne comporte aucun élément vérifiant  $P$ . }

(1)  $\text{LeDébut}([], P) = []$

(2)  $\text{LeDébut}(e_0S, P) = \text{si } P(e) \text{ alors } [] \text{ sinon } e_0\text{LeDébut}(S, P)$

**LaFin** :  $[T], (T \rightarrow \text{booléen}) \rightarrow [T]$

{ *LaFin* ( $S, P$ ) est la séquence de fin de  $S$  comprise entre le premier élément de  $S$  (inclus) vérifiant  $P$  et le dernier élément de  $S$ . *LaFin* ( $S, P$ ) est vide si  $S$  ne comporte aucun élément vérifiant  $P$ . }

(1)  $\text{LaFin}([], P) = []$

(2)  $\text{LaFin}(e_0S, P) = \text{si } P(e) \text{ alors } e_0S \text{ sinon } \text{LaFin}(S, P)$

**DebEtFin** :  $[T], (T \rightarrow \text{booléen}) \rightarrow \langle [T], [T] \rangle$

{ *DebEtFin* ( $S, P$ ) =  $\langle \text{LeDébut}(S, P), \text{LaFin}(S, P) \rangle$  }



# Bibliographie

- [AC93] M. Adiba et C. Collet. *Objets et bases de données : le SGBD O2*. HermèsΓ1993.
- [ADF<sup>+</sup>94] T. AtwoodΓJ. DuhlΓG. FerranΓM. Loomis et D. Wade. *The Object Database Standard : ODMG-93*, R.G.G. Cattell Ed. Morgan KaufmannΓ1994.
- [Adi96] M. Adiba. STORM an object-orientedΓmultimedia DBMS. Dans K.NowsuΓéditeurΓ*Multimedia Database Management Systems*Γchapitre 3Γpages 47–88. Kluwer Academic PublishersΓ1996.
- [All83] J.F. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*Γ26(11)ΓNovember 1983.
- [ANC87] M. AdibaΓB. Q. Ngoc et C. Collet. Aspects temporelsΓhistoriques et dynamiques dans les bases de données. *T.S.I., Numéro spécial Bases de données*Γ6(5):457–478Γ1987.
- [Ari87] G. Ariav. Design requirement for temporally oriented information systems. In TAI87 [TAI87].
- [ASU86] A. AhoΓR. Sethi et J. Ullman. *Compilers : principles, techniques and tools*. Addison-WesleyΓ1986.
- [BBS97] J. BairΓM. BöhlenΓC.S. Jensen et R.T. Snodgrass. Notions of upward compatibility of temporal query languages. Rapport de recherche TR-7ΓTime CenterΓ1997.
- [BCTP95] V. BrusoniΓL. ConsoleΓP. Terenziani et B. Pernici. Extending temporal relational databases to deal with imprecise and qualitative temporal information. Dans J. Clifford et A. TuzhilinΓéditeursΓ*proc. of the workshop on Recent Advances in Temporal Databases*ΓWorkshops in ComputingΓZurichΓSwitzerlandΓSeptember 1995. Springer Verlag.
- [BDA96] *actes des 12e Journées Bases de Données Avancées*ΓCassis (France)Γaoût 1996.
- [Ben94] B. Benatallah. Evolution de schéma et systèmes à objets : synthèse. Dans *actes du congrès INFORSID*ΓAix-en-ProvenceΓFranceΓMai 1994.

- [BF97] B. Benatallah et M.-C. Fauvet. Le point sur l'évolution du schéma d'une base d'objets. *L'OBJET: logiciels, bases de données, réseaux* 1997. 10 pages à paraître.
- [Böh94] M. Böhlen. *Managing temporal knowledge in deductive databases*. PhD thesis Γ ETH-Zurich Γ 1994.
- [Böh95] M.H. Böhlen. Temporal database system implementations. *SIGMOD record* 24(4):53–60 Γ December 1995.
- [BL89] H. Bestougeff et G. Ligozat. *Outils logiques pour le traitement du temps, de la linguistique à l'intelligence artificielle*. Masson Γ 1989.
- [BSS96] M. Böhlen Γ R. Snodgrass et M. Soo. Coalescing in Temporal Databases. Dans *proc. of the 22nd VLDB Conference* Γ Mumbai (Bombay) Γ India Γ 1996.
- [BWJ96] C. Bettini Γ X. Sean Wang et S. Jajodia. A general framework and reasoning models for time granularity. Dans *proc. of the 3rd Conference on Temporal Representation and Reasoning* Γ Key West Γ FL Γ 1996.
- [Can96a] J.-F. Canavaggio. Types temporels pour un SGBD à objets. Dans *actes de Journées Jeunes Chercheurs MATIS* Γ Archamps Γ France Γ décembre 1996.
- [Can96b] J.-F. Canavaggio. Une bibliothèque temporelle. Dans *Journée O<sub>2</sub> dans le cadre du Congrès INFORSID'96* Γ Bordeaux Γ juin 1996.
- [Can96c] J.-F. Canavaggio. Une bibliothèque temporelle pour un SGBD. Dans *actes des deuxièmes journées des jeunes chercheurs, GDR - PRC Bases de données - Pôle modélisation et environnements de développement* Γ pages 117–130 Γ Paris Γ janvier 1996.
- [Cas93] X. Castellani. *MCO, Méthodologie générale d'analyse et de conception des systèmes d'objets*. Masson (Paris) Γ 1993.
- [CC93] J. Clifford et A. Croker. The Historical Relational Data Model (HRDM) revisited. In Tansel et al. [TCG<sup>+</sup>93].
- [CC96] C. Collet et T. Coupaye. Primitive and Composite Events in NAOS. In *actes des 12e Journées Bases de Données Avancées* [BDA96]. pages 331–349.
- [CCMP93] E. Ciapessoni Γ E. Corsetti Γ A. Montanari et P. San Pietro. Embedding time granularity in a logical specification language for synchronous real-time systems. *Science of computer programming* 20:141–171 Γ 1993.

- [CD95] D. Cukierman et J. Delgrande. A language to express time intervals and repetition. Dans *proc. of the TIME-95 International Workshop on Temporal Representation and Reasoning*ΓMelbourneΓAustraliaΓ1995.
- [CD97] J.-F. Canavaggio et M. Dumas. Manipulation de valeurs temporelles dans un SGBD à objets. Dans *actes du 15e congrès INFORSID*ΓToulouseΓjuin 1997.
- [CLR89] C. CauvetΓJ.Y. Lingat et C. Rolland. Information system engineering : the Rubis system. Dans *proc. of the International Conference on CASE tools (CAISE)*ΓStockholmΓSwedenΓ1989.
- [CO93] S. J. Cannan et G. A. M. OttenΓéditeurs. *SQL - The standard handbook*. McGraw-Hill Book CompagnyΓ1993.
- [Cou86] P. Couderc. *Le Calendrier*. Que Sais-Je. Presses Universitaires de FranceΓ1986.
- [CR87] J. Clifford et A. Rao. A simple general structure for temporal domains. In TAI87 [TAI87].
- [CSS94] R. ChandraΓA. Segev et M. Stonebraker. Implementing calendars and temporal rules in the next generation databases. Dans *proc. of the International Conference on Data Engineering, IEEE*Γ1994.
- [DBS96] D. DeyΓT. M. Barron et V. C. Storey. A complete temporal relational algebra. *The VLDB Journal*Γ5(3)ΓAugust 1996.
- [Deu90] O. Deux. The story of O<sub>2</sub>. *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*Γ2(1)ΓMarch 1990.
- [DFG+96] A. DoucetΓM.-C. FauvetΓS. GançarskiΓG. Jomier et S. Monties. Using database versions to implement temporal integrity constraints. Dans *International Workshop on constraints in databases, LNCS No1191*ΓBostonΓUSAΓAugust 1996. 10 pages.
- [DLW84] P. DadamΓV. Lum et H. D. Werner. Integration of time versions into a relational databases system. Dans *proc. of 10th VLDB International Conference*ΓSingapourΓAug 1984.
- [Dum96] M. Dumas. Vers un langage d'expressions temporelles. rapport de stage de Magistère de Mathématiques Fondamentales et Appliquées et d'InformatiqueΓENS de ParisΓseptembre 1996.
- [Dum97] M. Dumas. Expression de contraintes d'intégrité dans un SGBD Temporel à objets. Rapport de rechercheΓDEA Systèmes et CommunicationsΓUniversité



- [EPP93] N. EdelweissΓJ. Palazzo et B. Pernici. An object-oriented temporal model. Dans *proc. of the CAISE'93 Conference*ΓParis (France)Γ1993. Springer Verlag. LNCS 685.
- [EPP94] N. EdelweissΓJ. Palazzo et B. Pernici. An object-oriented approach to a temporal query language. Dans *proc. of the 5th International Conference on Database and Expert Systems and Applications (DEXA), LNCS 856*ΓAthensΓGreeceΓ1994. Springer Verlag.
- [Euz94] J. Euzenat. Granularité dans les représentations spatio-temporelles. Rapport de recherche N2242ΓINRIAΓGrenobleΓavril 1994.
- [Fau89] M. C. Fauvet. Définition et réalisation d'un système de gestion de versions d'objets. Dans *5èmes Journées de Bases de Données Avancées*ΓGenèveΓSuisseΓSeptembre 1989.
- [Fau92] M. C. Fauvet. Versions and histories in object-oriented applications. Dans *7SBBD, the 7th Bresilian Conference on Databases*ΓPorto-AlegreΓBrazilΓMay 13-15 1992.
- [Fay97] L. Fayolle. Définition et détection d'événements dans NAOS. Mémoire CNAM en InformatiqueΓjuin 1997.
- [FCS96] M.-C. FauvetΓJ.-F. Canavaggio et P.-C. Scholl. Expressions de requêtes temporelles dans un SGBD à objets. In *actes des 12e Journées Bases de Données Avancées* [BDA96]Γpages 225–250.
- [FCS97a] M.-C. FauvetΓJ.-F. Canavaggio et P.-C. Scholl. Modelling histories in object DBMS. Dans *proc. of the 8th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA)*ΓToulouse (France)ΓSeptember 1997. Springer Verlag. LNCS 1308.
- [FCS97b] M.-C. FauvetΓJ.-F. Canavaggio et P.-C. Scholl. TEMPOS : un modèle d'historiques pour un SGBD temporel à objets. Dans *actes des 13e journées de Bases de Données Avancées*ΓGrenoble (France)Γseptembre 1997.
- [FS95] M.-C. Fauvet et P.-C. Scholl. Temps et bases de données : concepts temporels pour la gestion de l'évolution des données. Rapport de recherche RR 945 IF Laboratoire de Génie InformatiqueΓIMAGΓmars 1995.
- [Gad93] S. Gadia. Ben-zvi's pioneering work in relational temporal databases. In Tansel et al. [TCG+93].

- [Gir95] J.-P. Giraudin. Evolution de la modélisation des systèmes d'information. Dans *proc. of the 8th International Conference on Software Engineering and its Applications* Paris novembre 1995.
- [GLOS97] I. A. Goralwalla, Y. Leontiev, T. Ozsu et D. Szafron. Modeling temporal primitives ; back to basics. Dans *proc. of CIKM Conference* Las Vegas novembre 1997.
- [GN93] S. K. Gadia et S. S. Nair. Temporal databases: a prelude to parametric data. In Tansel et al. [TCG<sup>+</sup>93].
- [GO93] I. A. Goralwalla et M. T. Ozsu. Temporal extensions to a uniform behavioral object model. Dans *proc. of the 12th International Conference on the Entity-Relationship Approach - ER'93, LNCS 823*. Springer Verlag 1993.
- [GV85] S. K. Gadia et J. H. Vaishnav. A query language for a homogeneous temporal database. Dans *proc. of Conf on Principles of Database Systems* April 1985.
- [Ha91] J.-P. Haton et al. *Le raisonnement en Intelligence Artificielle*. InterEditions 1991.
- [Hob85] J. R. Hobbs. Granularity. Dans *proc. of the 9th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)* 1985.
- [Ins92] American National Standards Institute éditeur. *American National Standard for Information Systems - Database Language - SQL. ANSI X3, 135-1992. Revision and consolidation of ANSI X3, 135-1989 and ANSI X3, 168-1989*. 1992.
- [ISO88] International Standards Organization éditeur. *ISO 8601:1988: Data elements and interchange formats – Information interchange – Representation of dates and times*. 1988. 14 pages.
- [JCE<sup>+</sup>94] C.-S. Jensen, J. Clifford, R. Elmasri, S. Gadia, P. Hayes et S. Jajodia. A consensus glossary of temporal database concepts. *ACM SIGMOD Record* 23(1) March 1994.
- [JSS93] C. Jensen, M. Soo et R. Snodgrass. Unification of temporal data models. *Data Engineering Conference, IEEE* 1993.
- [Kaf93] W. Kafer. Temporal selection, temporal projection and temporal join revisited. In Snodgrass [Sno93].
- [KJ93] B. Knight et M. Jixin. An extended temporal system on points and intervals. *Information Systems* 18(2):111–120 1993.

- [Kou94] M. Koubarakis. Database models for infinite and indefinite temporal information. *Information Systems* 19(2):141–173 1994.
- [KS92] W. Kafer et H. Schoning. Realizing a temporal complex-object data model. Dans *proc. of the ACM SIGMOD Conference* California June 1992.
- [Lad86] P. Ladkin. Time representation: A taxonomy of interval relations. Dans *proc. of the 5th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'86)* Philadelphia 1986.
- [LBG93] T. Lawson C. Balthazaar et A. Gray. An object-oriented approach to temporal modelling. In Snodgrass [Sno93].
- [LEW96] J. Y. Lee R. Elmasri et J. Won. Specification of calendars and time series for temporal databases. Dans *proc. of International Conference on Conceptual Modeling - ER'96* Cottbus Germany October 1996. Springer Verlag LNCS No 1157.
- [LJ88] N. Lorentzos et R. Johnson. Extending relational algebra to manipulate temporal data. *Information Systems* 13(3) 1988.
- [LMF86] B. Leban D. McDonald et D. Forster. A representation for collection of temporal intervals. Dans *proc. of the 5th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'86)* Philadelphia 1986.
- [Lor93] N. A. Lorentzos. The Interval-extended Relational Model and its application to valid-time databases. In Tansel et al. [TCG+93].
- [Mac86] E. MacKenzie. Bibliography: Temporal databases. *ACM SIGMOD RECORD* 15(4) 1986.
- [MBJK90] J. Mylopoulos A. Borgida M. Jarke et M. Koubarakis. TELOS: representing knowledge about information systems. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* 8(4):325–362 1990.
- [MP92] Z. Manna et A. Pnueli. *The temporal logic of reactive and concurrent systems - Part. 1 Specification*. Springer Verlag 1992.
- [MP93] A. Montanari et B. Pernici. Temporal reasoning. In Tansel et al. [TCG+93].
- [NA87] S. B. Navathe et R. Ahmed. TSQL: a language interface for history databases. *Temporal Aspects in Information Systems* 1987.
- [NA93] S. B. Navathe et R. Ahmed. Temporal extensions to the relational model and SQL. In Tansel et al. [TCG+93].

- [OPS<sup>+</sup>95] T. OzsuΓR. PetersΓD. SzafronΓB. IraninΓA. Lipka et A. Munoz. TIGUKAT: A uniform behavioral objectbase management system. *The VLDB Journal*Γ4:445–492Γ1995.
- [Ora92] Oracle. *Oracle7 Server Administrator's Guide, Oracle part 6694-70-1292*. OracleΓ1992.
- [PEA<sup>+</sup>95] J. PalazzoΓN. EdelweissΓE. ArrudaΓA. Laender et J Cavalcanti. Implementation of an object-oriented temporal model. Dans *proc. of the 6th International Conference on Database and Expert Systems and Applications (DEXA)*ΓLondon (UK)ΓSeptember 1995.
- [Poi96] A. Poitou. *Un modèle d'événements duratifs*. Rapport de DEAF Université Joseph Fourier – Institut National Polytechnique de GrenobleΓjuin 1996.
- [Qui97] M.-C. Quidoz. Modèles et systèmes de bases de données temporelles et actives en économie. Mémoire CNAM en InformatiqueΓà soutenirΓdécembre 1997.
- [Rod92] J. F. Roddick. Schema evolution in database systems : an annotated bibliography. *ACM SIGMOD RECORD*Γ21(4)ΓDecember 1992.
- [RS93] E. Rose et A. Segev. TOOSQL a temporal object oriented query langage. Dans *proc. of the 12th International Conference on the Entity-Relationship approach, LNCS 823*ΓArlingtonΓTexasΓDecember 1993. Springer-Verlag.
- [SA85] R. T. Snodgrass et I. Ahn. A taxonomy of time in databases. Dans *proc. of ACM SIGMOD*ΓMay 1985.
- [Sar93] N. L. Sarda. HSQL : a Historical Query Language. In Tansel et al. [TCG<sup>+</sup>93].
- [SC91] S. Su et H.-H. Chen. A temporal knowledge representation model OSAM/T and its query langage OQL/T. Dans *proc. of the 17th VLDB International Conference*ΓBarcelonaΓSeptember 1991.
- [Sch95] S. Schwer. Structures temporelles pour les BD : état de l'art. Rapport interne du Laboratoire d'Informatique de Paris-NordΓ1995.
- [Sci91] E. Sciore. Multidimensional versioning for object-oriented databases. Dans *proc. of the Second International Conference on Deductive and Object-Oriented Databases, LNCS 566*ΓMunichΓGermanyΓDecember 1991. Springer-Verlag.
- [Sci94] E. Sciore. Versioning and configuration management in an object-oriented data model. *The VLDB Journal*Γ3:77–106Γ1994.

- [SFC98] P.-C. SchollΓM.-C. Fauvet et J.-F. Canavaggio. Un modèle d'histoire pour un SGBD temporel. *TSI, Numéro thématique "Bases de données"*Γ1998. À paraître.
- [SFLM93] P.-C. SchollΓM.-C. FauvetΓF. Lagnier et F. Maraninchi. *Cours d'informatique - Langages et Programmation*. Collection Manuels Informatique. Masson (Paris)ΓSeptembre 1993.
- [SK94] S. Soukeras et P.-J.-H. King. TFDL: a temporal functional language for the management of historical databases. Dans *proc. of the 5th International Conference on Database and Expert Systems and Applications (DEXA), LNCS 856*ΓAthensΓGreeceΓ1994. Springer Verlag.
- [SN97] A. Steiner et M.C. Norrie. Implementing temporal databases in object-oriented systems. Dans *proc. of the 5th International Conference on Databases for Advanced Applications*ΓMelbourneΓAustraliaΓApril 1997.
- [Sno88] R. Snodgrass et al. Special issue on temporal databases. *Data Engineering Bulletin*Γ11(4)ΓDecember 1988.
- [Sno92] R. T. Snodgrass. Temporal databases. Dans *proc. of the International Conference GIS - From space to territory*ΓPisa (Italy)ΓSeptember 1992. also in *Theories and methods of Spatio-Temporal reasoning in Geographic Space*ΓLNCS n°639ΓSpringer Verlag.
- [Sno93] R. T. SnodgrassΓéditeur. *proc. of ARPA/NSF International Workshop on Infrastructure for Temporal Databases*ΓArlingtonΓTexasΓJune 1993.
- [Sno94a] R. T. Snodgrass. Overview of the special session on temporal database infrastructure. *ACM SIGMOD RECORD*Γ23(1)ΓMarch 1994.
- [Sno94b] R. Snodgrass et al. TSQL2 language specification. *ACM SIGMOD Record*Γ23(1)ΓMarch 1994.
- [Sno95a] R. T. Snodgrass. Temporal object-oriented databases: a critical comparison. Dans W. KimΓéditeurΓ*Modern database systems. The object model, interoperability and beyond*Γchapitre 19. Addison WesleyΓ1995.
- [Sno95b] R. T. SnodgrassΓéditeur. *The TSQL2 temporal query language*. Kluwer Academic PublishersΓ1995.
- [Soo91] M. D. Soo. Bibliography on temporal databases. *ACM SIGMOD Record*Γ20(1):14–23ΓMarch 1991.

- [SS92] M. Soo et R. Snodgrass. The TEMPIS project : mixed calendar query language support for temporal constants. TEMPIS Technical report n 29ΓDepartement of Computer ScienceΓUniversity of ArizonaΓTucsonΓmay 1992.
- [SS93] A. Segev et A. Shoshani. A temporal data model based on time sequences. In Tansel et al. [TCG+93].
- [SSD+92] M. SooΓR. SnodgrassΓC.E. DyresonΓC.S. Jensen et N. Kline. The TEMPIS project : Architectural Extensions to Support Multiple Calendars. TEMPIS Technical report n 32ΓDepartement of Computer ScienceΓUniversity of ArizonaΓTucsonΓmay 1992.
- [TAI87] *Proceedings of Conference on Temporal Aspects in Information Systems*ΓSophia-AntipolisΓMay 1987. AFCET.
- [Tan93] A. U. Tansel. A generalized relational framework for modelling temporal data. In Tansel et al. [TCG+93].
- [TCG+93] A. U. TanselΓJ. CliffordΓS. GadiaΓS. JajodiaΓA. Segev et R. SnodgrassΓéditeurs. *Temporal Databases*. The Benjamins/Cummings Publishing CompanyΓ1993.
- [Tec95] O2 Technology. The O2 systemΓdocumentation v4.6ΓSeptember 1995.
- [TIM95] Proceedings of time-95. Dans *TIME-95 International Workshop on Temporal Representation and Reasoning*ΓMelbourneΓAustraliaΓ1995.
- [TSQ] TSQ2. représente toute une communauté de chercheurs qui ont travaillé à la définition d'un glossaire des concepts de base liés au tempsΓet des extensions qu'il faut apporter au modèle relationnel et à SQL pour représenter le temps dans une base de données. Les publications issues du groupe de travail sont accessibles via ftp anonyme à l'adresse cs.arizona.edu.
- [Tur86] R. Turner. *Logiques pour l'Intelligence Artificielle*. MassonΓ1986.
- [VGS96] C. VassilakisΓP. Georgiadis et A. Sotiropoulou. A comparative study of temporal dbms architecture. Dans *proc. of the 7th International Workshop on Database and Expert Systems and Applications (DEXA)*ΓZurich (Switzerland)ΓSeptember 1996.
- [WD92] G.T.J. Wu et U. Dayal. A uniform model for temporal object-oriented databases. Dans *proc. of the 8th IEEE Data Engineering Conference*Γ1992.
- [WD93] G.T.J. Wu et U. Dayal. A uniform model for temporal and versioned object-oriented databases. In Tansel et al. [TCG+93].

- [WJ93] X. S. Wang et S. Jajodia. Temporal mediators as a way to support multiple temporal representations. In Snodgrass [Sno93].
- [WJS93] X. S. WangΓS. Jajodia et V. S. Subrahmanian. Temporal modules : an approach toward federated temporal databases. Dans *proc. of the International Conference on Management of Data*. ACM SIGMODΓ1993.
- [WJS95] X. S. WangΓS. Jajodia et V. S. Subrahmanian. Temporal modules : an approach toward federated temporal databases. *Information Systems*Γ82Γ1995.
- [Yu 83] E. Yu Kandrashina. Representation of temporal knowledge. Dans *proc. of the 8th International Joint Conference in Artificial Intelligence*Γpages 346–358ΓKarlsruhe (DE)Γ1983.