Du flou dans les graphes conceptuels

Rallou Thomopoulos
UMR INA P-G/INRA BIA
16 rue Claude Bernard
F-75231 Paris Cedex 05, France

Patrice Buche
UMR INA P-G/INRA BIA
16 rue Claude Bernard
F-75231 Paris Cedex 05, France

Ollivier Haemmerlé
UMR INA P-G/INRA BIA
LRI (UMR CNRS 8623 - Université Paris-Sud) / INRIA (Futurs)
Bâtiment 490, F-91405 Orsay Cedex, France

Résumé *Ce papier présente une extension du modèle des graphes conceptuels à la représentation de sous-ensembles flous. Cette extension a été développée dans le cadre d'un projet national visant à représenter des connaissances relatives à la prévention du risque microbiologique dans les aliments. Nous proposons une représentation uniforme de marqueurs et de types flous. Nous étudions ensuite la relation de spécialisation des graphes conceptuels dans le cadre de l'extension du modèle. Enfin, nous proposons une comparaison plus souple de graphes conceptuels flous.*
mot-clés *: graphes conceptuels, sous-ensembles flous.*

1 Introduction

Notre projet de recherche, tout en étant orienté par les questions soulevées par une application réelle, est consacré à l'étude de la combinaison de deux formalismes, le modèle des graphes conceptuels et la théorie des sous-ensembles flous. Ce projet s'inscrit dans un programme national, le projet Sym'Previus, associant des organismes de recherche (INRA, INA P-G), des industriels (Danone, Bongrain, ...) et des centres techniques (ADRIA, ...), avec pour objectif la construction d'un outil d'analyse des risques microbiologiques dans les produits alimentaires.

Cet outil d'aide à la décision s'appuie sur une base de données relationnelle, qui contient des informations issues de publications scientifiques et de données industrielles en microbiologie. Ces informations décrivent le comportement (croissance, décroissance ou survie) de germes pathogènes (par exemple Listeria monocytogenes) au cours du cycle de vie des produits alimentaires (chauffage, découpe, stockage, mélange, conservation, etc.).

Le projet présente plusieurs spécificités importantes :

- les données stockées peuvent être imprécises, du fait de plusieurs facteurs : (i) la complexité des processus biologiques sous-jacents qui rend difficile la reproduction à l'identique des conditions expérimentales : la répétition d'une même expérience peut conduire à des résultats différents synthétisés par un intervalle de valeurs, (ii) la présence de données vagues, comme par exemple "Sur des produits ayant une activité de l'eau (a_w) **faible**...", (iii) les techniques de mesure, souvent limitées par des seuils de détection ;
- une base de données contenant des résultats d'expériences en microbiologie est incomplète par nature : les études réalisées sont en nombre limité et de nombreuses expérimentations possibles restent inexplorées ;
- les sources d'information sont hétérogènes et rendent de ce fait les données difficiles à structurer.

Notre réponse à ces spécificités se situe à trois niveaux. Nous représentons l'imprécision des données à l'aide de sous-ensembles flous. Nous donnons à l'utilisateur la possibilité d'exprimer des préférences dans l'expression des critères de sélection de ses requêtes afin qu'il puisse poser des requêtes "larges" et ainsi pallier l'incomplétude de la base ; ces préférences sont également exprimées à l'aide de sous-ensembles flous. Enfin, le coût de modifications fréquentes du schéma de la base de données relationnelle étant élevé, nous proposons d'utiliser une base de connaissances complémentaire, faiblement structurée, utilisant le formalisme des graphes conceptuels, pour stocker les informations non prévues par le schéma relationnel mais néanmoins utiles. Afin de disposer d'une expressivité homogène entre la base de données relationnelle de notre application et la base de données faiblement structurées, nous étendons le modèle des graphes conceptuels à la représentation de valeurs numériques et de valeurs décrites par un sous-ensemble flou.

Dans la section 2, nous rappelons brièvement les formalismes utilisés. La section 3 présente l'extension du modèle des graphes conceptuels à la représentation des valeurs floues. Enfin, la section 4 définit une relation de spécialisation sur les graphes conceptuels étendus au flou, ainsi qu'un mécanisme de comparaison floue de graphes conceptuels.

2 Notions préliminaires

2.1 Le modèle des graphes conceptuels

Nous avons choisi le modèle des graphes conceptuels pour représenter les données faiblement structurées car : (i) sa structure de graphe est adaptée à une représentation souple de données, (ii) la partie terminologique des connaissances se prête facilement à la mise en place de mécanismes de généralisation des requêtes,
(iii) sa représentation graphique est relativement intuitive pour des utilisateurs non-informaticiens, (iv) des plates-formes de développement, fournissant

des algorithmes efficaces, sont disponibles, (vi) l'interprétation en logique du premier ordre fournit un cadre théorique robuste.

2.2 Le modèle des graphes conceptuels

Le modèle des graphes conceptuels [Sow84] est un modèle de représentation de connaissances fondé sur des graphes étiquetés. Nous utilisons la formalisation proposée par [MC96]. Ce paragraphe présente le *support* qui contient les connaissances terminologiques, les *graphes conceptuels* qui contiennent les connaissances assertionnelles et la *relation de spécialisation* sur les graphes conceptuels.

Le support

Le support contient le vocabulaire utilisé pour construire la base de connaissances : les types de concepts utilisés, les instances de ces types, et les types de relations permettant de relier les concepts.

L'*ensemble des types de concepts* T_C est partiellement ordonné par la relation *sorte de*. *Universel* et *Absurde* en sont respectivement le plus grand et le plus petit élément. La figure 1 présente une partie de l'ensemble de types de concepts utilisé dans notre application.

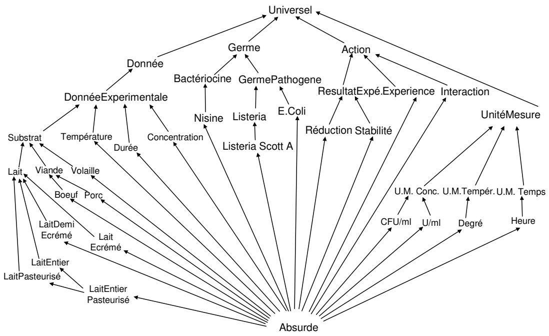

FIG. 1: Une partie de l'ensemble des types de concepts de l'application

Les concepts peuvent être liés par des relations. Le support contient l'*ensemble des types de relations* T_R, qui est partiellement ordonné par la relation *sorte de*. Un exemple de type de relation est *agent*, une relation bianire permettant de lier une *Action* à un *Germe* (qui sont des types de concepts).

L'*ensemble des marqueurs individuels* I contient quant à lui les instances de concepts. Par exemple *Celsius* peut être une instance de *Degré*. Le marqueur générique (noté $*$) est un marqueur particulier référençant une instance de concept indéfinie.

Les graphes conceptuels

Un graphe conceptuel est composé : (i) d'un ensemble de *sommets concepts* (notés par des rectangles) qui représentent les entités, attributs, événements, (ii) d'un ensemble de *sommets relations* (notés par des ovales) qui expriment la nature des liens entre les concepts, (iii) d'un ensemble d'*arêtes* qui lient les sommets relations aux sommets concepts, (iv) d'une *étiquette* associée à chaque sommet et à chaque arête (un couple *(type de concept, marqueur)* pour un sommet concept, un type de relation pour un sommet relation, le numéro d'ordre dans le voisinage d'un sommet relation donné pour une arête). La figure 2 est un exemple de graphe conceptuel.

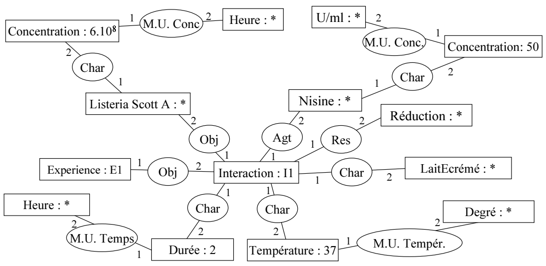

FIG. 2: Un exemple de graphe conceptuel

Relation de spécialisation, opération de projection

L'ensemble des graphes conceptuels est partiellement préordonné par une *relation de spécialisation* (notée $\leq$), qui peut être calculée par l'opération de *projection* (un morphisme de graphes autorisant une restriction de l'étiquette des sommets) : $G' \leq G$ si et seulement si il existe une projection de G dans G'. La figure 3 présente un exemple de projection. La projection est une opération fondamentale du modèle puisqu'elle permet de rechercher des réponses à une requête (les réponses pouvant être considérées comme des spécialisations de la requête).

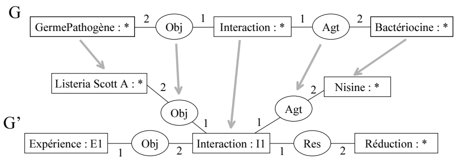

FIG. 3: Il y a une projection de G dans G', $G' \leq G$ (G' est une spécialisation de G)

2.3 Représentation du flou

Dans cet article, nous utilisons le modèle des sous-ensembles flous proposé dans [Zad65, Zad78]. Le formalisme des sous-ensemble flous est utilisé de deux manières différentes : (i) dans une requête, afin d'exprimer les préférences de l'utilisateur concernant un critère de sélection. Par exemple, le sous-ensemble flou *HumanBodyTemperature* de la figure 4 permet à l'utilisateur d'indiquer qu'une réponse comprise entre 36.5 et 37.5 est totalement satisfaisante, les valeurs proches de cet intervalle étant également acceptables avec un moindre degré de satisfaction ; (ii) dans les données, pour représenter des valeurs imprécises.

Définition 1 *Un* sous-ensemble flou *A sur un domaine X est défini par une fonction d'appartenance μ_A de X dans [0, 1] qui associe, à chaque élément x de X, le degré avec lequel x appartient à A. Le* support *du sous-ensemble flou A est le sous-ensemble de X sur lequel $\mu_A > 0$, le* noyau *du sous-ensemble flou A est le sous-ensemble de X sur lequel $\mu_A = 1$.*

Un sous-ensemble flou peut être défini sur un domaine continu ou discret, comme l'illustre la figure 4.

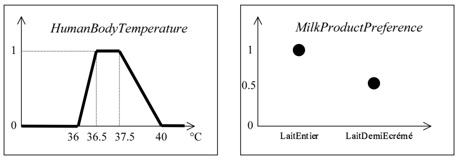

FIG. 4: Deux sous-ensembles flous définis respectivement sur un domaine continu et sur un domaine discret

Définition 2 *Soient A et B deux sous-ensembles flous de X. On dit que B est* inclus *dans A (noté $B \subseteq A$), si et seulement si pour tout x de X, $\mu_B(x) \leq \mu_A(x)$.*

Dans le but de mesurer l'adéquation d'une donnée imprécise B à un critère flou A, deux degrés sont classiquement utilisés : (i) le degré de possibilité [Zad78] et (ii) le degré de nécessité [DP88].

Définition 3 *Le* degré de possibilité *d'adéquation entre A et B, noté $\Pi(A\,;B)$, est défini par :*
$\Pi(A\,;B) = sup_{x \in X} min(\mu_A(x), \mu_B(x))$. minimum

Le degré de possibilité est "optimiste", puisqu'il vaut 1 si l'intersection des noyaux est non vide, qu'il est strictement positif si l'intersection des supports est non vide, et qu'il est nul sinon. Il s'agit d'un "degré d'intersection". Le degré de possibilité est symétrique : $\Pi(A\,;B) = \Pi(B\,;A)$.

Définition 4 *Le* degré de nécessité *d'adéquation de B à A, noté $N(A\,;B)$, est défini par :*
$N(A\,;B) = inf_{x\in X} max(\mu_A(x), 1-\mu_B(x))$. maximum

Le degré de nécessité est "pessimiste". En effet, $N(A,B)$ vaut 1 si le support de B est inclus dans le noyau de A, $N(A,B) > 0$ si le noyau de B est strictement inclus dans le support de A, et $N(A,B)$ vaut 0 sinon. Il s'agit d'un degré d'inclusion. Le degré de nécessité n'est pas symétrique.

On a toujours : $\Pi(A\,;B) \geq N(A\,;B)$.

3 Extension du modèle des graphes conceptuels à la représentation de valeurs floues

La combinaison d'un modèle de représentation des connaissances et d'un traitement du flou a déjà été proposée dans de nombreux travaux antérieurs. On peut citer [BK95, ZC86, BP97] dans les bases de données relationnelles, [DOT01] dans XML ou [RB86, Bro00, OC01] dans les réseaux sémantiques.

Dans le cadre de l'application microbiologique Sym'Previus, les informations stockées dans les concepts (aussi bien dans les données que dans les requêtes) peuvent être représentées sous deux formes : soit sous forme de marqueurs individuels, soit sous forme de types de concepts. Elles doivent pouvoir être représentées de manière floue dans les deux cas. Nous proposons donc l'introduction à la fois de marqueurs flous et de types flous.

L'introduction du flou dans le modèle des graphes conceptuels a également été abordée, par exemple dans [Mor87, WM93, WC96, CC98, Cao99]. Pour différentes raisons détaillées dans [Tho03], ces représentations n'étaient pas adaptées à nos objectifs. Nous nous sommes donc attachés à définir, d'une part une sémantique plus restreinte mais sans ambiguïté, d'autre part un cadre de représentation unifié pour les types et les marqueurs : (i) le flou est représenté de la même façon dans les deux cas, au moyen d'un sous-ensemble flou, (ii) l'utilisation de types flous que nous proposons ne met pas en question l'unicité du type associé à un marqueur individuel : un type flou représente une disjonction de types possibles (avec des degrés de possibilité différents), (iii) dans le contexte de l'application, le flou concerne les données et non la façon dont elles sont reliées entre elles. Nous ne traitons donc pas le cas des relations floues.

3.1 Représentation de marqueur flou

Définition 5 *Un* marqueur flou *M d'un type de concept t est un sous-ensemble flou défini sur l'ensemble des marqueurs individuels I. Il associe une valeur entre 0 et 1 à tout marqueur individuel conforme*[1] *à t, et la valeur 0 aux autres*

[1] L'ensemble des marqueurs individuels conformes à t est $\{m \in I \mid \tau(m) \leq t\}$, où τ est une application, définie dans le support, qui associe à tout marqueur individuel un type de concept minimum.

marqueurs individuels.

Nous autorisons la représentation de valeurs numériques dans les graphes conceptuels, sous forme de marqueurs individuels. L'ensemble I devient donc un ensemble indénombrable (contrairement à la définition proposée dans [MC96] sur laquelle nous nous appuyons par ailleurs), le type minimum associé aux marqueurs individuels de type numérique est un type de concept particulier que nous notons *ValeurNumérique*.

Un marqueur flou représente une disjonction de marqueurs individuels conformes au type t, pondérés par un coefficient entre 0 et 1.

Il est important de noter que les marqueurs flous sont tous définis sur le même domaine, en l'occurrence I, ce qui permet de leur appliquer les opérations et comparaisons entre sous-ensembles flous, qui sont valables pour des sous-ensembles flous définis sur un même domaine.

Définition 6 *Un* concept avec marqueur flou *est un sommet concept dont l'étiquette est un couple* (t, M)*, où* M *est un marqueur flou du type de concept* t*.*

Exemple 1 *Le graphe conceptuel de la Figure 5 comporte un concept avec marqueur flou, du type* ValeurNumérique.

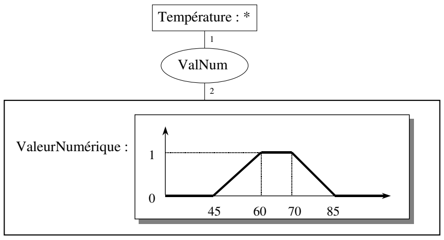

FIG. 5: Un exemple de concept avec marqueur flou

3.2 Représentation de type flou

Définition 7 *Un* type flou en intention T *est un sous-ensemble flou défini sur un domaine constitué d'un sous-ensemble des types de concepts de* T_C*.*

Par exemple, le sous-ensemble flou *MilkProductPreference* représenté sur la Figure 4 est un type flou conforme à la Définition 7. Il est défini sur un sous-ensemble des types de concepts de la Figure 1.

Il est nécessaire de définir une relation de spécialisation sur les types flous, afin par exemple de pouvoir rechercher les réponses à une requête. Pourtant, la définition 7 ne permet pas de faire des comparaisons de types flous de manière satisfaisante. Supposons par exemple que l'utilisateur utilise dans une requête le type flou $q = \{1/Lait\}$, exprimant en cela qu'il est intéressé par les réponses concernant le lait. Supposons également qu'un des faits de la base contienne le type flou $f = \{1/LaitEntier\}$. Il semble naturel de considérer que f est une réponse à q (puisque *LaitEntier* est une spécialisation de *Lait*. Or f et q n'étant pas définis sur le même domaine, ils sont incomparables au sens de l'inclusion de sous-ensembles flous (Cf. définition 2).

Ce constat nous a amenés à introduire la notion de *type flou en extension* défini sur l'ensemble des types de concepts T_C, qui est la forme développée du type flou en intention. Intuitivement, un type flou en extension prend en compte la relation *sorte de* en propageant le degré associé à un type à ses sous-types.

Définition 8 *Soit T un type flou en intention défini sur un domaine $dom(T)$ ($dom(T) \subseteq T_C$) et de fonction d'appartenance μ_T. Le* type flou en extension *associé à T, noté $ext(T)$, est défini sur T_C et sa fonction d'appartenance $\mu_{ext(T)}$ est définie comme suit :*

Pour tout élément t de T_C, soit $E = \{t_1, \dots, t_n\}$ l'ensemble des plus petits[2] *surtypes de t (au sens large, c'est-à-dire $t_i \geq t$) dans $dom(T)$.*

- *si E est non vide, $\mu_{ext(T)}(t) = max_{1 \leq i \leq n}(\mu_T(t_i))$,*
- *sinon $\mu_{ext(T)}(t) = 0$.*

Exemple 2 *Le type flou en intention* Substrat1 = {0,5/LaitEntier, 1/LaitPasteurisé} *a pour extension le type* {0,5/LaitEntier, 1/LaitPasteurisé, 1/LaitEntierPasteurisé (0 partout ailleurs)} *. C'est en effet le maximum des degrés associés à LaitEntier et LaitPasteurisé dans Substrat1 qui est affecté à leur sous-type commun* LaitEntierPasteurisé *dans le type flou en extension.*

Exemple 3 *Le type flou en intention* Substrat2 = {1/Lait, 0,8/LaitPasteurisé} *a pour extension le type* {1/Lait, 1/LaitEntier, 0,8/LaitPasteurisé, 0,8/LaitEntierPasteurisé, 1/LaitEcrémé, 1/LaitDemiEcrémé (0 partout ailleurs)} *. Comme rien n'a été spécifié sur* LaitEntier *dans le type flou en intention, c'est le degré associé à* LaitPasteurisé*, c'est à dire 0,8, qui est affecté à* LaitEntierPasteurisé *(et non 1 qui est associé au type plus général* Lait*).*

Définition 9 *Un* concept avec type flou *est un sommet concept dont l'étiquette est un couple $(T, *)$, où T est un type flou et $*$ le marqueur générique.*

Remarque 1 *Nous considérons qu'un marqueur individuel est associé à un seul type minimum. Comme nous supposons qu'un type flou est une disjonction de types "possibles", il n'est pas possible d'associer un marqueur individuel à un type flou (puisque si nous connaissons le marqueur, alors nous connaissons le type avec certitude).*

[2] au sens de la relation d'ordre partiel "sorte de" de T_C

3.3 Notion de type flou minimal

Deux types flous en intention différents peuvent avoir le même type flou en extension associé, comme l'illustrent les exemples suivants.

Exemple 4 *Les types flous en intention* Substrat3 = {0,5/Lait} *et* Substrat4 = {0,5/Lait, 0,5/LaitEcrémé} *ont le même type flou en extension (0,5 affecté à* Lait *et tous ses sous-types, 0 pour tous les autres types).*

Exemple 5 *Les types flous en intention* Substrat5 = {1/Lait, 0,8/LaitEntier, 1/LaitPasteurisé} *et* Substrat6 = {1/Lait, 0,8/LaitEntier, 1/LaitEntierPasteurisé} *ont le même type flou en extension {1/Lait, 0,8/LaitEntier, 1/LaitPasteurisé, 1/LaitEntierPasteurisé, 1/LaitEcrémé, 1/LaitDemiEcrémé, (0 pour tous les autres types)}.*

Définition 10 *Deux types flous en intention* $T1$ *et* $T2$ *sont dits* équivalents *(noté* $T1 \equiv T2$*) s'ils ont le même type flou en extension associé.*

Exemple 6 *Les types flous* Substrat3 *et* Substrat4 *de l'exemple 4 sont équivalents. Les types flous* Substrat5 *et* Substrat6 *de l'exemple 5 sont équivalents.*

On constate que *Substrat4* contient le même élément que *Substrat3* avec le même degré, et comporte un élément supplémentaire (*LaitEcrémé*, affecté du degré 0.5). La spécification de cet élément supplémentaire ne change en rien le type flou en extension associé.

En revanche *Substrat5* et *Substrat6* ont deux éléments communs (avec les mêmes degrés) et un élément différent : *Substrat5* comporte l'élément *1/LaitPasteurisé*, que *Substrat6* ne comporte pas. A l'inverse, *Substrat6* comporte l'élément *1/LaitEntierPasteurisé*, que *Substrat5* ne comporte pas. La suppression de *1/LaitPasteurisé* dans *Substrat5* ou de *1/LaitEntierPasteurisé* dans *Substrat6* modifierait l'extension obtenue.

Définition 11 *Soit le type flou en intention* T *défini sur* $dom(T) = \{t_1, t_2, ..., t_j, ..., t_n\}$. T *restreint au domaine* $dom(T) \setminus \{t_j\}$ *est noté* T_{-j}. t_j *est dit* déductible *dans* T *si* $\mu_{ext(T_{-j})}(t_j) = \mu_T(t_j)$.

Exemple 7 *Dans le type flou* Substrat4 *de l'exemple 4, l'élément* LaitEcrémé *est déductible.*
Dans le type flou Substrat5 *de l'exemple 5, l'élément* LaitPasteurisé *est déductible.*
Dans Substrat3 *et* Substrat6*, aucun élément n'est déductible.*

Définition 12 *Le type flou en intention* T *est dit* minimal *si aucun élément de son domaine n'est déductible (le terme "minimal" n'est pas entendu ici au sens de la cardinalité).*

Exemple 8 *Les types flous* Substrat3 *et* Substrat6 *sont minimaux.*
Les types flous Substrat4 *et* Substrat5 *ne sont pas minimaux.*

Propriété 1 *Pour tout type flou en extension T_e, il existe un unique type flou minimal ayant pour extension T_e, noté $mnl(T_e)$.*

La preuve de l'existance et de l'unicité de $mnl(T_e)$ ainsi qu'un algorithme de construction sont présentés dans un rapport interne et seront présentés en détail dans [Tho03].

4 Opérations sur les graphes conceptuels flous

Dans cette section, nous présentons l'extension au flou de la relation de spécialisation entre graphes conceptuels, puis nous définissons une opération de comparaison floue entre graphes conceptuels, plus souple que la stricte relation de spécialisation.

4.1 Extension de la relation de spécialisation aux graphes conceptuels flous

Définition 13 *Soient M et M' deux marqueurs flous. M et M' sont définis sur le même domaine I. M' est une spécialisation de M si et seulement si $M' \subseteq M$, où $\subseteq$ désigne la relation d'inclusion classique des sous-ensembles flous.*

Définition 14 *Soient T et T' deux types flous, $ext(T)$ et $ext(T')$ leurs types flous en extension associés. $ext(T)$ et $ext(T')$ sont définis sur le même domaine T_C. T' est une spécialisation de T si et seulement si $ext(T') \subseteq ext(T)$, où $\subseteq$ désigne la relation d'inclusion classique des sous-ensembles flous.*

Définition 15 *Soient $e = (T, M)$ et $e' = (T', M')$ deux étiquettes de concepts, où T et T' peuvent être des types flous, M et M' peuvent être des marqueurs flous. Alors e' est une spécialisation de e si et seulement si T' est une spécialisation de T et M' une spécialisation de M.*

Définition 16 *La restriction d'un sommet concept s'obtient en remplaçant l'étiquette du sommet concept par une autre plus spécialisée, au sens de la définition 15.*

Opération de projection des graphes conceptuels flous L'opération de projection des graphes conceptuels est définie comme un morphisme de graphes autorisant la restriction des étiquettes des sommets. Cette définition reste valable pour les graphes conceptuels flous, en utilisant la restriction des étiquettes des sommets concepts établie par la définition 16.

Exemple 9 *La figure 6 montre un exemple de spécialisation faisant intervenir des marqueurs flous.*

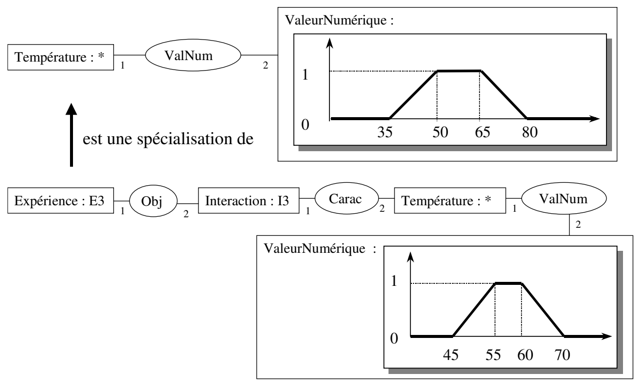

FIG. 6: Un exemple de spécialisation faisant intervenir des marqueurs flous

4.2 Une comparaison plus souple des graphes conceptuels flous

L'utilisation de l'opération de projection pour comparer deux graphes conceptuels mène à un résultat binaire : un graphe G' est une spécialisation d'un graphe G ou ne l'est pas, il n'existe pas de réponse intermédiaire. Une comparaison plus souple des sous-ensembles flous contenus dans les graphes conceptuels permettrait d'évaluer la compatibilité entre deux graphes conceptuels non comparables par la relation de spécialisation. Dans cette partie, nous introduisons une comparaison plus souple entre graphes conceptuels, utilisant les degrés de possibilité et de nécessité présentés en 2.3.

Définition 17 *Soient M et M' deux marqueurs flous. M' est compatible avec M avec le degré de possibilité $\Pi(M\ ;M')$ et le degré de nécessité $N(M\ ;M')$ définis par :*
- $\Pi(M\ ;M') = sup_{m \in I} min(\mu_M(m), \mu_{M'}(m))$;
- $N(M\ ;M') = inf_{m \in I} max(\mu_M(m), 1 - \mu_{M'}(m))$.

Exemple 10 *La figure 7 montre un exemple de la comparaison souple entre deux marqueurs flous.*

Définition 18 *Soient T et T' deux types flous, $ext(T)$ et $ext(T')$ leurs types flous en extension associés. T' est compatible avec T avec le degré de possibilité $\Pi(T\ ;T')$ et le degré de nécessité $N(T\ ;T')$ définis par :*
- $\Pi(T\ ;T') = sup_{t \in T_C} min(\mu_{ext(T)}(t), \mu_{ext(T')}(t))$;
- $N(T\ ;T') = inf_{t \in T_C} max(\mu_{ext(T)}(t), 1 - \mu_{ext(T')}(t))$.

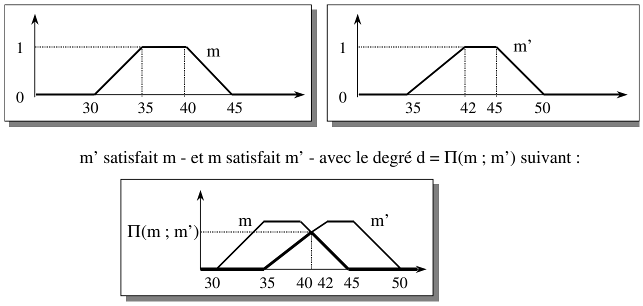

FIG. 7: Comparaison souple de deux marqueurs M et M' du type *Valeur-Numérique* par le degré de possibilité

Définition 19 *Soient* $e = (T, M)$ *et* $e' = (T', M')$ *deux étiquettes de concepts, où* T *et* T' *peuvent être des types flous,* M *et* M' *peuvent être des marqueurs flous.* e' *est compatible avec* e *avec le degré de possibilité* $\Pi(e\ ; e')$ *et le degré de nécessité* $N(e\ ; e')$ *définis par :*

- $\Pi(e\ ; e') = min(\Pi(T\ ; T'), \Pi(M\ ; M'))$ *;*
- $N(e\ ; e') = min(N(T\ ; T'), N(M\ ; M'))$.

L'opérateur *min* est utilisé pour l'aggrégation conjonctive des degrés de compatibilité (voir par exemple [DP88, DP95]).

Définition 20 *Soient* G *et* G' *deux graphes conceptuels pouvant comporter des concepts avec types ou marqueurs flous. Soit* P *un couple d'applications* (f, g)*,* f *de l'ensemble des sommets relations de* G *dans l'ensemble des sommets relations de* G'*,* g *de l'ensemble des sommets concepts de* G *dans l'ensemble des sommets concepts de* G'*, tel que :*

- *les arêtes et la numérotation des arêtes sont conservées ;*
- *les étiquettes des sommets relations peuvent être restreintes.*

G' *est dit compatible avec* G *selon* P *avec le degré de possibilité* $\Pi(G\ ; G')$ *et le degré de nécessité* $N(G\ ; G')$ *définis par :*

- $\Pi(G\ ; G') = min_{c \in C} \Pi(étiq(c)\ ; étiq'(g(c)))$ *;*
- $N(G\ ; G') = min_{c \in C} N(étiq(c)\ ; étiq'(g(c)))$.

Exemple 11 *Considérons le graphe* G *représenté sur la figure 8 et le graphe* G' *représenté sur la figure 9 :* G' *est compatible avec* G *avec le degré de possibilité 0.8. Cette valeur correspond au degré de possibilité avec lequel le concept avec marqueur flou de* G' *(représentant l'intervalle numérique [4 ;6]) est compatible avec le concept avec marqueur flou de* G *(de type* ValeurNumérique*). Tous les autres sommets concepts de* G' *sont compatibles avec leur antécédent dans* G *avec le degré 1 (y compris le sommet concept [*Lait : **]).* G' *est compatible avec* G *avec le degré de nécessité 0, obtenu pour le sommet concept [*Lait : **].*

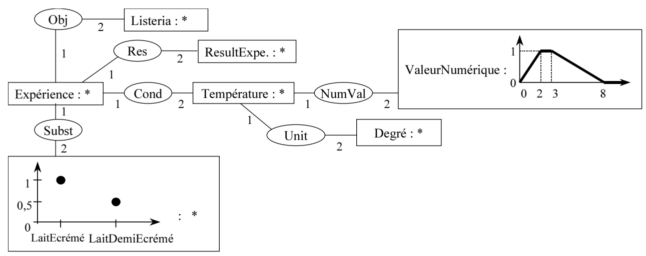

FIG. 8: Un exemple de graphe requête G

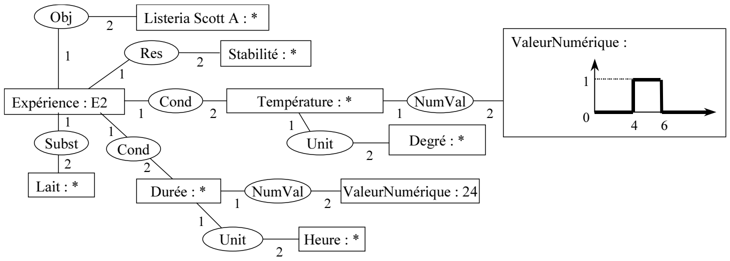

FIG. 9: Un exemple de graphe donnée G'

Remarque 2 *Dans le cas d'une opération de projection "classique" (G et G' non flous, et G se projette dans G'), $\Pi(G\,;G')$ et $N(G\,;G')$ prennent la valeur 1.*

4.3 Conclusion, perspectives

Le travail présenté dans cet article est une partie d'un projet appliqué visant à mettre en œuvre un système d'aide à la décision dans le cadre de la prévention du risque microbiologique dans les aliments. Le système MIEL (Moteur d'Interrogation ELargie) que nous avons développé dans le cadre du projet Sym'Previus contient à l'heure actuelle des résultats provenant d'environ 700 publications scientifiques en microbiologie. Il exploite simultanément une base de données relationnelle autorisant la représentation de données floues (environ 90 tables) et une base de connaissances exprimées en termes de graphes conceptuels, implémentée sur la plate-forme CoGITaNT [GS98]. L'interrogation se fait par le biais d'une interface utilisateur qui rend totalement transparente l'utilisation de deux bases distinctes.

Un certain nombre de travaux restent à mener. Nous travaillons actuellement sur l'intégration de techniques d'élargissement des requêtes au sein du moteur d'interrogation de la base de graphes conceptuels. Cet élargissement est fondé sur la généralisation du graphe conceptuel requête. Cette généralisation peut résulter (i) d'une extension de sommet concept, qu'il soit "classique" ou flou, ou (ii) de la suppression de certaines parties du graphe.

Nous travaillons également à l'optimisation des algorithmes de comparaison de types flous, qui sont fondées pour le moment sur le type flou en extension, et nécessitent donc autant de comparaisons que d'élément présents dans T_C. Nous proposons notamment d'utiliser le type flou minimal.

Enfin, un travail préliminaire d'interprétation logique de l'extension du modèle des graphes conceptuels au flou a été présenté dans [TBBH03]. Ce travail devrait être poursuivi à l'avenir.

Références

[BK95] P. Bosc and J. Kacprzyk, editors. *Fuzziness in Database Management Systems, Studies in fuzziness*. Springer-Verlag, 1995.

[BP97] P. Bosc and H. Prade. An introduction to the fuzzy set and possibility theory-based treatment of soft queries and uncertain or imprecise databases. *Uncertainty and Management in Information Systems : From Needs to Solutions*, pages 285–324, 1997.

[Bro00] C. Brouard. *Construction et exploitation de réseaux Sémantiques Flous pour l'Extraction d'Information Pertinente : le système RELIEFS*. PhD thesis, Université Paris 6, 2000.

[Cao99] T.H. Cao. *Foundations of Order-Sorted Fuzzy Set Logic Programming in Predicate Logic and Conceptual Graphs*. PhD thesis, University of Queensland, Australia, 1999.

[CC98] T.H. Cao and P. Creasy. Fuzzy order-sorted logic programming in conceptual graphs with a sound and complete proof procedure. In *Proceedings of the 6th International Conference on Conceptual Structures, ICCS'98, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, volume 1453, pages 270–284, Montpellier, France, August 1998. Springer.

[DOT01] E. Damiani, B. Oliboni, and L. Tanca. Fuzzy techniques for XML data smushing. *Lecture Notes in Computer Science*, 2206 :637–652, 2001.

[DP88] D. Dubois and H. Prade. *Possibility Theory - An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Plenum Press, New York, 1988.

[DP95] D. Dubois and H. Prade. *Tolerant fuzzy pattern matching : an introduction*, pages 42–58. Heidelberg : Physica Verlag, 1995.

[GS98] D. Genest and E. Salvat. A platform allowing typed nested graphs : How cogito became cogitant. In *Proceedings of the 6th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'1998), Lecture Notes in Artificial Intelligence*, volume 1453, pages 154–161, Montpellier, France, August 1998. Springer.

[MC96] M.L. Mugnier and M. Chein. Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 10(1) :7–56, 1996.

[Mor87] S.K. Morton. *Conceptual graphs and fuzziness in artificial intelligence*. PhD thesis, University of Bristol, 1987.

[OC01] M.N. Omri and N. Chouigui. Measure of similarity between fuzzy concepts for identification of fuzzy user's requests in fuzzy semantic networks. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(6) :743–748, 2001.

[RB86] E.A. Rundensteiner and W. Bandler. The equivalence of knowledge representation schemata : 'semantic networks' and 'fuzzy relational products'. In *Proceedings of the North-American Fuzzy Information Processing Society Conference (NAFIPS'86)*, pages 477–501, New Orleans, 1986.

[Sow84] J.F. Sowa. *Conceptual structures - Information processing in Mind and Machine*. Addison-Welsey, 1984.

[TBBH03] R. Thomopoulos, P. Bosc, P. Buche, and O. Haemmerlé. Logical interpretation of fuzzy conceptual graphs. In *Proceedings of the NAFIPS'2003 conference*, pages 173–178, Chicago, USA, July 2003.

[Tho03] R. Thomopoulos. *Représentation et interrogation élargie de données imprécises et faiblement structurées*. PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, à soutenir en 2003.

[WC96] V. Wuwongse and T.H. Cao. Towards fuzzy conceptual graph programs. In *Proceedings of the 4th International Conference on Conceptual Structures, ICCS'96, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, volume 1115, pages 263–276, Sydney, Australia, 1996. Springer-Verlag.

[WM93] V. Wuwongse and M. Manzano. Fuzzy conceptual graphs. In *Proceedings of the 1st International Conference on Conceptual Structures, ICCS'93, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, volume 699, pages 430–449, Quebec City, Canada, August 1993. Springer-Verlag.

[Zad65] L.A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 :338–353, 1965.

[Zad78] L.A. Zadeh. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1 :3–28, 1978.

[ZC86] A. Zvieli and P. Chen. Entity-relationship modeling and fuzzy databases. In *Proceedings of the Second International Conference on Data Engineering*, pages 320–327, Los Angeles, California, USA, February 1986. IEEE Computer Society.