



**HAL**  
open science

# Un graphe multicouche pour la représentation des processus d'expertise

Serge Sonfack Souchio, Bernard Kamsu-Foguem, Laurent Geneste

► **To cite this version:**

Serge Sonfack Souchio, Bernard Kamsu-Foguem, Laurent Geneste. Un graphe multicouche pour la représentation des processus d'expertise. 10<sup>ème</sup> Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle, AFIA-Association Française pour l'Intelligence Artificielle, Jul 2024, La Rochelle, France. hal-04639153

**HAL Id: hal-04639153**

**<https://hal.science/hal-04639153v1>**

Submitted on 9 Jul 2024

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

# Un graphe multicouche pour la représentation des processus d'expertise

Serge SONFACK SOUNCHIO<sup>1</sup>, Bernard KAMSU-FOGUEM<sup>2</sup>, Laurent GENESTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Robert Bosch Sp. z o. o. Jutrzenki 105, POLAND

<sup>2</sup> Laboratoire Génie de Production/UFTMiP 47, Avenue d'Azereix, BP 1629, 65016 Tarbes Cedex, France

## Résumé

*Les processus d'expertise sont une approche utilisée par les experts pour comprendre des problèmes complexes sur la base d'hypothèses. Il permet d'explorer les explications possibles d'un problème de façon itérative. Cette approche est généralement utilisée pour élucider des problèmes lorsque l'on n'a pas assez de connaissances sur le problème et permet ainsi de les résoudre, d'en tirer des leçons et de prendre des décisions. Cependant, bien que ce processus ait été normalisé au niveau européen pour encadrer les experts dans leurs activités, les processus d'expertise sont encore peu formalisés et les artefacts produits sont difficiles à comprendre et à réutiliser en raison de leur structure en graphes complexes nommés graphes exploratoires d'hypothèses. Cette étude propose une nouvelle formalisation des graphes exploratoires d'hypothèses en graphes multicouche, capitalisant ainsi différents types d'éléments structurants (questions, hypothèses, et connaissances) sur chaque couche et facilitant leur utilisation et leur compréhension par les humains et les machines. Un cas d'utilisation est proposé pour illustrer la représentation en graphe multicouche pour les graphes exploratoires d'hypothèses et la manière dont ils sont interrogés.*

## Mots-clés

*Processus d'expertise, graphe multicouche, représentation des connaissances.*

## Abstract

*An expertise process is an approach used by experts to understand complex problems based on hypotheses. It aids in exploring all possible explanations of a problem and unlocks its understanding. This approach is used for elucidating issues when confronted with limited knowledge regarding a problem and enables experts to solve problems, learn lessons, or make decisions. However, although this process has been standardized at the European level for human experts' guides, the Expertise Process is still poorly computerized. The artifacts produced during the processes are challenging to understand and reuse because of its complex graph structure called hypotheses exploratory graphs. This study formalizes hypotheses exploratory graphs in a multilayered graphs representation, thus capturing different types of knowledge at each layer and making it easier for humans and machines to use and understand.*

*A use case is carried out to illustrate the proposed layered representation of hypotheses exploratory graphs and how they are queried.*

## Keywords

*Expertise process, Multilayer graph, Knowledge representation.*

## 1 Introduction

Le processus d'expertise est une approche utilisée dans le cadre de l'expertise afin d'explorer les explications possibles des problèmes dans des conditions de connaissances limitées. Il implique des experts de différents domaines qui collaborent pour augmenter les possibilités d'étudier tous les indices pertinents pouvant mener à l'explication et la résolution du problème en question. Ce processus commence par des questions et se développe au fur et à mesure que d'autres questions et d'hypothèses associées sont exprimées, puis validées ou non, sur la base d'observations de l'environnement du problème. Principalement, les hypothèses formulées par les experts sont incertaines, et les déclarations prédictives [4] émanent de leur expérience. En revanche, les observations peuvent être des éléments de connaissance dérivés d'informations objectives provenant d'équipements de mesure, de capteurs ou d'observations générales de phénomènes perçus dans l'environnement lié au problème. En outre, les observations peuvent être effectuées à l'aide de connaissances spécifiques au domaine provenant d'êtres humains et d'autres systèmes [7].

Même si le processus d'expertise est guidé par des cadres normatifs tels que la norme française *NF X50 - 110* « Qualité des activités d'expertise » et par la norme européenne *CSN EN 16775* « Activités d'expertise exigences générales pour les services d'expertise », il n'est pas doté d'une représentation formelle que les humains et les machines peuvent facilement exploiter [8].

Les travaux de [2, 3] utilisent des techniques de représentation des connaissances telles que les graphes conceptuels et le web sémantique pour démontrer comment le savoir-faire humain peut être partagé ou réutilisé. L'étude [11] a proposé pour la représentation des processus d'expertise une structure de graphe qui s'est avérée complexe à comprendre et à réutiliser en raison de son intégration de com-

posants hétérogènes comme des connaissances supplémentaires, des hypothèses et des questions.

Cette étude élabore un formalisme de graphe multicouche pour représenter et interroger les processus d'expertise basés sur des hypothèses. L'approche proposée personnalise le cycle de raisonnement du processus d'expertise fondé sur des hypothèses, en intégrant la construction d'une couche spécifique du graphe multicouche à chaque étape du cycle. Le graphe multicouche obtenu offre une grande expressivité à partir des couches séparées et une compréhension de la connaissance du processus d'expertise à différents niveaux. Le reste de ce document est structuré comme suit. La section 2 présente les processus d'expertise et les graphes exploratoires des hypothèses. La section 3 définit la représentation en graphe multicouche et la manière dont elle est utilisée pour représenter les processus d'expertise. La section 4 conclut cette étude.

## 2 Cadre général

### 2.1 Processus d'expertise

L'expertise est une activité cognitive menée par des agents possédant des connaissances de haut niveau dans le même domaine ou dans des domaines différents, acquises par l'expérience ou l'apprentissage. Elle vise à fournir une compréhension d'une situation obscure ou des réponses à des problèmes complexes. Les processus d'expertise sont des lignes directrices normalisées françaises et européennes pour une méthodologie exploratoire basée sur des questions et des hypothèses que les experts suivent pour explorer les explications possibles d'un problème complexe. Ces processus prennent également en compte l'acquisition de connaissances que les experts utilisent pour valider ou réfuter les hypothèses. La figure 1 montre une trace générale d'un processus d'expertise avec des branches correspondant aux tentatives d'exploration et les nœuds du graphe aux points du processus où des questions, des hypothèses et des connaissances sont fournies [9, 12].

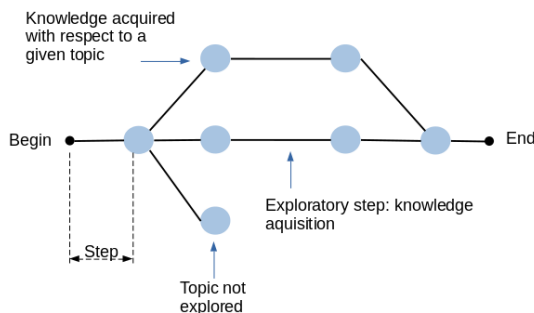


FIGURE 1 – Représentation générale d'un processus d'expertise de [13] montrant les étapes d'exploration et les nœuds de sujet

### 2.2 Hypotheses exploratory graphs (HEG)

Le processus de construction d'un graphe exploratoire d'hypothèses (GHE) à partir d'un processus d'expertise

quel que soit le domaine (assurance de responsabilité civile, immobilier, automobile, aéronautique) est un processus collaboratif et itératif homme-machine. Chaque itération comporte quatre étapes dans lesquelles les compétences et les capacités cognitives humaines contribuent aux deux premières : poser des questions et exprimer des hypothèses, qui sont des pensées incertaines et prédictives pouvant servir de base au raisonnement, à la résolution de problèmes ou à la recherche de relations plausibles entre plusieurs variables d'une circonstance [6]. Les deux autres étapes impliquent l'ingestion de connaissances supplémentaires et un raisonnement défaitiste de la part de la machine. Pour que le calcul soit possible, la logique d'hypothèse et son mécanisme de raisonnement défaisable, connu sous le nom d'extension, ont été adoptés pour la représentation des connaissances/observations et des hypothèses supplémentaires [10].

La figure 2 illustre les étapes du cycle de raisonnement d'hypothèse homme-machine, qui se déroule comme suit : (1) définir l'itération initiale avec son observation initiale; (2) poser des questions dans le cadre de cette itération : Ces questions aident à comprendre le problème; (3) exprimer des hypothèses pour chaque question de l'itération; (4) collecter des observations : les hypothèses ont par défaut un statut inconnu; (5) raisonner et changer le statut des hypothèses; (6) établir une nouvelle itération et recommencer pour chaque hypothèse posée jusqu'à satisfaction ou contrainte de temps.

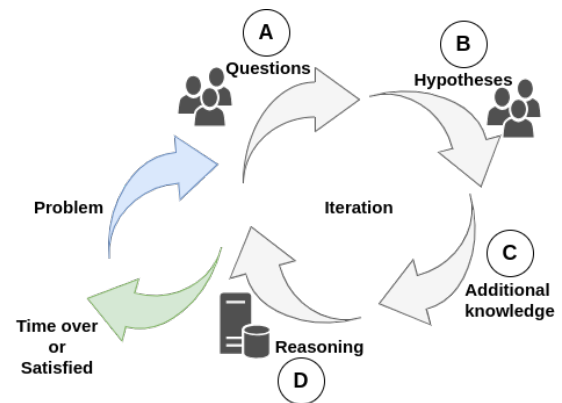


FIGURE 2 – Cycle de raisonnement du processus d'expertise des hypothèses montrant ses étapes itératives et ses conditions d'arrêt, extraites de [11]

### 2.3 Raisonnement et apprentissage HEG

La construction du graphe exploratoire d'hypothèses (HEG) est basée sur un mécanisme de *raisonnement faisable* et de *hypothèse du monde ouvert* qui influencent l'état des hypothèses (valides ou inconnues) d'une itération à l'autre au cours du processus d'expertise. Par conséquent, on s'attend à ce que l'état d'une hypothèse change au cours des différentes itérations en raison du raisonnement défaitiste et des connaissances supplémentaires. Le raisonnement défaitiste et les connaissances supplémentaires sont des éléments essentiels du processus d'expertise. L'hypo-

thèse d'un monde ouvert dans la construction du HEG soutient le fait que la non-validité d'une hypothèse est peut-être due à un manque de connaissances complètes qui pourraient la rendre valide.

### 3 Graphe d'hypothèses multicouche

Les connaissances formalisées à partir de cette méthodologie ont la vue synoptique présentée dans la figure 3. Cette représentation intègre les connaissances utilisées pour résoudre le problème, y compris les questions, les hypothèses et les observations, ainsi que les étapes suivies pour résoudre le problème.

- **Couche 0** : représente les itérations du processus, y compris les connaissances utilisées à chaque itération.
- **Couche 1** : représentation graphique des questions posées au cours du processus exploratoire et de leur cheminement.
- **Couche 2** : représentation graphique des hypothèses émises par les experts en fonction des questions posées à chaque itération.

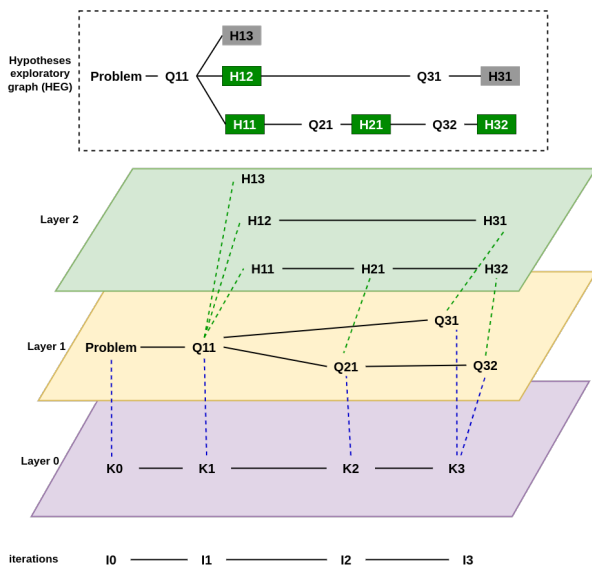


FIGURE 3 – Vue multicouche du graphe exploratoire des hypothèses présenté dans l'illustration : la couche 0 correspondant à la couche de connaissances, la couche 1 à la couche de questions et la couche 2 à la couche d'hypothèses.

#### 3.1 Formalisation

La définition formelle du graphe exploratoire d'hypothèses multicouche est définie dans cette section sur la base du graphe multicouche proposé par [1].  $G = (V, E, L)$  où  $V = \{V_K, V_Q, V_H\}$  : correspondant aux sommets de connaissances ( $V_K$ ), aux sommets de questions ( $V_Q$ ) et aux sommets d'hypothèses ( $V_H$ ).  $E = \{E_1, E_2\}$  : correspondant à l'interaction entre les nœuds des différentes couches avec  $\{E_1, E_2\}$  : correspondant à l'interaction entre les nœuds des différentes couches.  $E_1 = \{(v_k, v_q) \in V_K * V_Q\}$

pour les arêtes entre la couche des connaissances et la couche des questions,

$E_2 = \{(v_q, v_h) \in V_Q * V_H\}$  pour les arêtes entre la couche des questions et celle des hypothèses.  $L = \{L_0, L_1, L_2\}$  : correspondant à la couche de connaissances ( $L_0$ ), la couche de questions ( $L_1$ ) et la couche d'hypothèses ( $L_2$ ). La couche de connaissances ( $L_0$ ), la couche de questions ( $L_1$ ) et la couche d'hypothèses ( $L_2$ ).  $L_0 = (V_K, E_K)$  fait référence aux nœuds et aux arêtes de la couche  $L_0$ .  $L_1 = (V_Q, E_Q)$  désigne les nœuds et les arêtes de la couche  $L_1$ .  $L_2 = (V_H, E_H)$  fait référence aux nœuds et aux arêtes de la couche  $L_2$ , avec les arêtes de connaissance ( $E_K$ ), les arêtes de questions ( $E_Q$ ) et les arêtes d'hypothèses ( $E_H$ ).

#### 3.2 Construction

La construction du processus d'expertise des hypothèses à plusieurs niveaux est basée sur le même cycle de raisonnement du processus d'expertise des hypothèses que celui décrit dans la figure 2. Toutefois, à chaque étape d'une itération, seul le graphe de l'instance d'étape correspondante est mis à jour. Par conséquent, dans l'étape (A), le graphe des questions de la couche 1 est mis à jour; dans l'étape (B), le graphe des hypothèses de la couche 2 est mis à jour; et dans l'étape (C), le graphe des connaissances de la couche 0 est mis à jour. Dans l'étape (D), le raisonnement est effectué sur la base de l'état actuel de chaque couche, de l'état des hypothèses (valides ou inconnues), et les doutes sont modifiés en conséquence.

#### 3.3 Illustration

Pour montrer comment l'approche ci-dessus fonctionne, nous l'avons illustrée par un cas réel dans une entreprise de fabrication. Pour cette illustration, il a été demandé à des experts d'utiliser l'approche proposée pour rechercher des explications sur les raisons pour lesquelles un article avait été retourné par des clients.

- **Itération 0** : Correspond au problème initial.
- **Itération 1** :
  - Question : Pourquoi les produits KW831 ont-ils été rejetés par les clients ?
  - Hypothèses :
    - $h_{1,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû à des outils de mesure défectueux.
    - $h_{1,2}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que cela soit dû au non-respect du plan de fabrication.
    - $h_{1,3}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que cela soit dû à un serrage excessif de ses pièces.
  - Observation :
    - Certains opérateurs n'ont pas été formés à l'utilisation des outils de mesure, et certains

- n'ont donc pas pu mesurer correctement les composants du KW831.
  - Les outils de mesure sont neufs et ont été testés avant d'être utilisés ; ils ne sont donc pas défectueux.
  - Raisonnement :
    - $h_{1,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû à des outils de mesure défectueux.
      - **Statut** : Inconnu.
    - $h_{1,2}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû à une non conformité avec le plan de production.
      - **Statut** : Valide.
    - $h_{1,3}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû au non-respect du plan de fabrication.
      - **Statut** : Inconnu.
- Remarques** : Pour le processus de raisonnement, les hypothèses avec un statut *Inconnu* sont celles qui n'ont pas été soutenues par les observations, tandis que les hypothèses avec *Valide* sont celles qui sont cohérentes avec les observations. Ce mécanisme est utilisé à chaque itération.
- **Itération 2** :
  - Question : Pourquoi ces KW831 récemment fabriqués ont-ils été mal serrés ?
  - Hypothèses :
    - $h_{2,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *probablement vrai* que c'est parce que les opérateurs ont mal fait le travail.
  - Observation :
    - Seuls les KW831 récemment fabriqués sont rejetés par les clients.
  - Raisonnement :
    - $h_{1,1}$ 
      - **Hypothèse** Il est *presque certainement vrai* que cela est dû à des outils de mesure défectueux.
      - **Statut** : Inconnu.
    - $h_{1,2}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que cela soit dû au non-respect du plan de fabrication.
      - **Statut** : Inconnu.
    - $h_{1,3}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que cela soit dû à un serrage excessif de ses pièces.
      - **Statut** : Inconnu.
    - $h_{2,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *probablement vrai* que cela soit dû à un serrage excessif de ses pièces.
      - **Statut** : Inconnu.
- **Itération 3** :
  - Question : Pourquoi les dimensions des pièces du KW831 n'ont-elles pas été respectées ?
  - Hypothèses :
    - $h_{3,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *probablement vrai* que cela est dû à des erreurs de mesure.
    - Question : Pourquoi ces opérateurs nouvellement recrutés ne sont-ils pas bons ?
      - $h_{3,2}$ 
        - **Hypothèse** : Il est *certainement vrai* que les opérateurs n'aient pas été bien formés sur la chaîne de production.
  - Observations :
    - Il y a des opérateurs nouvellement recrutés, ils pourraient donc mal monter ou mesurer les composants du KW831.
    - Les opérateurs ont travaillé sous pression afin de livrer les produits KW831 à temps, il est donc possible qu'il y ait des erreurs de fabrication.
    - Les opérateurs nouvellement recrutés sont des travailleurs inexpérimentés.
  - Raisonnement :
    - $h_{1,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû à des outils de mesure défectueux.
      - **Statut** : Inconnu.
    - $h_{1,2}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû au non-respect du plan de fabrication.
      - **Statut** : Valide.
    - $h_{1,3}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *presque certainement vrai* que cela est dû au non-respect du plan de fabrication.
      - **Statut** : Valide.
    - $h_{2,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que c'est parce que les opérateurs ont mal fait le travail.
      - **Statut** : Valide.
    - $h_{3,1}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *très probable* que c'est parce que les opérateurs ont mal fait le travail.
    - $h_{3,2}$ 
      - **Hypothèse** : Il est *certainement vrai* que les opérateurs n'ont peut-être pas été bien formés sur la chaîne de production.
      - **Statut** : Valide.

Cette illustration est présentée sur la figure 4.

La figure 3 montre respectivement les première, deuxième et troisième couches du graphe multicouche du processus

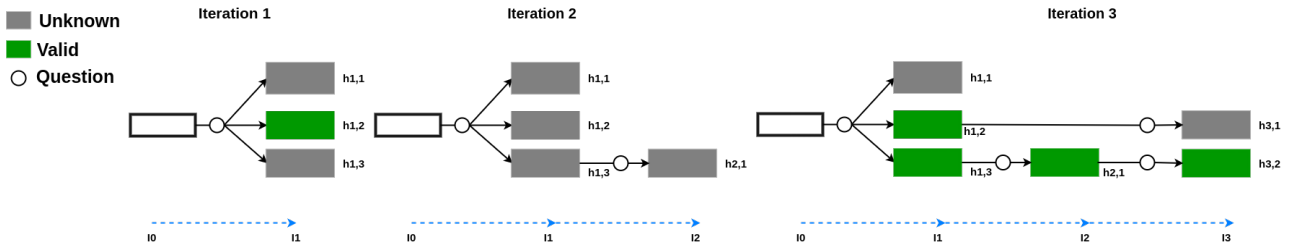


FIGURE 4 – Graphe exploratoire des hypothèses (HEG) de toutes les itérations de l'exemple illustratif de [12], montrant comment les états des hypothèses changent d'une itération à l'autre. L'état *Inconnu* est utilisé à la place de *Invalide* en raison de l'hypothèse *Monde ouvert*.

**Block 1 – Query iterations with at least one valid hypothesis (Valid iterations)**

```
kgtk query -i HEG_Hedge.tsv --match '()-[:Follows]->(i), (i)-[:HasQuestion]->()-[:HasHypothesis]->()-[:Status]->(v)' --return 'distinct i as `Iteration`,v as `Status`' --where 'v=kgtk_unstringify("Valid")'
```

**Block 2 – Sortie des itérations valides pour l'exemple de graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (Requête dans le bloc 1)**

Iteration	status
I1	Valid
I2	Valid
I3	Valid

d'expertise conçu à l'aide de la boîte à outils du graphe de connaissances [5] (KGTK).

Le KGTK offre des moyens simples et efficaces de créer des graphes, tels que la tabulation et les valeurs séparées par des virgules. En outre, il fournit un langage d'interrogation statistique et basé sur le cryptage.

**3.3.1 Requêtes sur le graphe exploratoire d'hypothèses multicouche**

- **Itérations valides** : itérations comportant au moins une hypothèse valide. La requête dans le bloc 1 extrait du graphe exploratoire multicouche des hypothèses (MHEG) les étapes valides du problème comprises par les experts. Le bloc 1 est le résultat de la requête.
- **Hypothèses valides** : La requête du bloc 3 récupère toutes les hypothèses valides exprimées au cours du processus exploratoire. Le résultat de la requête est indiqué dans le bloc 3. Le résultat de la requête est présenté dans le bloc 4
- **Chemin valide** : La requête dans le bloc 5 récupère les chemins valides du graphe des couches d'hypothèses. Le résultat de cette requête est affiché dans le bloc 6.

**Block 3 – Recherche d'hypothèses valides**

```
kgtk query -i HEG_Hedge.tsv --match '()-[:HasHypothesis]->(h)-[:Status]->(v)' --return 'h as `Hypotheses`,v as `Status`' --where 'v=kgtk_unstringify("Valid")'
```

**Block 4 – Sortie des causes possibles de l'exemple de graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (requête dans le bloc 3)**

Hypotheses	Status
It is almost certainly true that it is due to non-compliance with the manufacturing plan	Valid
It is almost certainly true that it is due to the over-tightening of its parts	Valid
It is highly likely that it is because operators poorly did the work	Valid
It is certainly true that operators may not have been well trained on the production line	Valid

**Block 5 – Interroger le chemin d'accès valide (Chemin d'accès valide)**

```
kgtk query -i HEG_Hedge.tsv --match '(h)-[:Hypothesis]->(j), (h)-[:Status]->(v), (j)-[:Status]->(v)' --where 'v=kgtk_unstringify("Valid")'
```

**Block 6 – Sortie des chemins valides de l'exemple de graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (requête dans le bloc 5)**

```
id node1 lable node2 Graph id node1 lable node2
  Graph id node1 lable node2 Graph
e20 It is highly likely that it is because
  operators poorly did the work Hypothesis
  It is certainly true that operators may not
  have been well trained on the production
  line Hgraph e40 It is highly likely that it
  is because operators poorly did the work
  Status Valid Hgraph e39 It is certainly
  true that operators may not have been well
  trained on the production line Status Valid
  Hgraph
e19 It is almost certainly true that it is due
  to the over-tightening of its parts
  Hypothesis It is highly likely that it is
  because operators poorly did the work
  Hgraph e27 It is almost certainly true that
  it is due to the over-tightening of its
  parts Status Valid Hgraph e40 It is highly
  likely that it is because operators poorly
  did the work Status Valid Hgraph
```

**Block 7 – Chemin existant**

```
kgtk paths --path-file pairsH.tsv --path-mode
  NONE --path-source source --path-target
  target -i H_Hedge.tsv
```

- **Explication possible du problème** : à partir de la couche 2 (le graphe des hypothèses uniquement), les explications possibles peuvent être interrogées en fournissant les derniers nœuds et le nœud initial du problème. Ces explications possibles correspondent à des chemins d'hypothèses valides allant du nœud initial à un nœud final. La requête dans le bloc 7 récupère les chemins depuis *H32* qui correspond à la dernière hypothèse valide jusqu'à *P* le nœud initial (Problème). L'explication du problème examiné dans cet article est le chemin produit par le KGTK sous la forme  $p0-0-0$ ,  $p0-1-1$ ,  $p0-2-2$ ,

**Block 8 – Sortie du chemin existant dans le graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (requête dans le bloc 7)**

node1	label	node2	id
Problem		h11	problem--0
Problem		h12	problem--1
Problem		h13	problem--2
h12		h31	h12--3
h13		h21	h13--4
h21		h32	h21--5
p0	0	e3	p0-0-0
p0	1	e4	p0-1-1
p0	2	e5	p0-2-2

qui correspond au *Problème - H13 – H21 – H32*.

**3.3.2 Calcul du doute**

Basé sur les valeurs de possibilité linguistique, il est possible de calculer le doute global d'un graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (MHEG) ou celui pour chaque itération [11]. Ce doute est calculé comme suit :

- Le doute à une itération est donné par :  
Le doute maximal sur toutes les hypothèses à l'itération donnée.  
Par exemple le doute à l'itération *II* est  $max\_doubt\{$  "presque certainement vrai", "très vraisemblable", "très vraisemblable"  $\} =$  "très vraisemblable", ce qui signifie que cette itération "très vraisemblable" d'être vraie.
- Le doute sur le chemin valide d'un graphe exploratoire d'hypothèses multicouches (MHEG) est :  
Le doute d'un chemin valide est égal au doute minimum des hypothèses appartenant à ce chemin. D'après l'exemple illustré dans cette étude, le doute de l'une des explications possibles (*H31*, *H21*, *H32*) est égal à :  $min\_doubt\{$  "Très probable", "Probablement vrai", "Certainement vrai"  $\} =$  "Très probable".  
Cette valeur correspond au doute de cette explication possible du problème évalué.

**4 Conclusion**

Cette étude présente des graphes exploratoires d'hypothèses (HEG) pour les processus d'expertise et comment les experts les construisent en collaboration en suivant le cycle de raisonnement du processus d'expertise des hypothèses. Il répond au besoin d'une représentation formelle plus expressive de ces HEG et propose une représentation graphique multicouche sur la structure existante. La représentation multicouche proposée est construite à partir d'un cycle de raisonnement de processus d'expertise d'hypothèse adapté. Un cas illustratif montre comment fonctionne l'approche proposée et comment les connaissances sont récupérées à l'aide du langage de requête kyper à partir de la boîte à outils du graphe de connaissances.

À l'avenir, nous avons l'intention d'étudier la construction d'un logiciel de processus d'expertise avec une interface d'interaction humaine intuitive entre les experts et le graphe multicouche proposé.

**Références**

[1] Guillermo Blanco and Anália Lourenço. A multi-layered graph-based framework to explore behavioural phenomena in social media conversations. *International Journal of Medical Informatics*, 179 :105236, 2023.

[2] Patrice Buche, Julien Couteaux, Julien Cufi, Sébastien Destercke, and Alrick Oudot. Integrating collective know-how for multicriteria decision support in agri-

- food chains—application to cheesemaking. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6 :1145007, 2023.
- [3] Patrice Buche, Bernard Cuq, Jerome Fortin, and Clément Sipieter. Expertise-based decision support for managing food quality in agri-food companies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163 :104843, 2019.
- [4] Patrick J Hurley. *A concise introduction to logic*. Nelson Education, 2014.
- [5] Filip Iliovski, Daniel Garijo, Hans Chalupsky, Naren Teja Divvala, Yixiang Yao, Craig Rogers, Ronpeng Li, Jun Liu, Amandeep Singh, Daniel Schwabe, and Pedro Szekely. KGTK : A toolkit for large knowledge graph manipulation and analysis. In *International Semantic Web Conference*, pages 278–293. Springer, 2020.
- [6] Xia Jing, James J Cimino, Vimla L Patel, Yuchun Zhou, Jay H Shubrook, Sonsoles De Lacalle, Brooke N Draghi, Mytchell A Ernst, Aneesa Weaver, Shriram Sekar, et al. Data-driven hypothesis generation among junior clinical researchers : A comparison of a secondary data analysis with visualization (viads) and other tools. *medRxiv*, pages 2023–05, 2023.
- [7] Pierre Marquis, Odile Papini, and Henri Prade. *Représentation des connaissances et formalisation des raisonnements*. Cepadues Editions, 2014.
- [8] Paul Peyrouy. La norme nf x 50-110 «qualité en expertise» : situation actuelle et perspectives. *Revue Experts*, 90 :36–39, 2010.
- [9] Pierre Siegel, Andrei Doncescu, Vincent Risch, and Sylvain Sené. Vers une représentation des systèmes dynamiques booléens en logique des hypothèses. In *Journées d’Intelligence Artificielle Fondamentale 2017*, page 14p, 2017.
- [10] Pierre Siegel, Vincent Risch, Syvain Sené, and Andrei Doncescu. Logique modale des hypothèses, systèmes dynamiques booléens et réseaux de gènes. *JIAF*, page 43.
- [11] Serge Sonfack Souchio. *Modélisation et exploitation des connaissances pour les processus d’expertise collaborative*. PhD thesis, 2022.
- [12] Serge SONFACK SOUNCHIO and Laurent GENESTE. A hypotheses-driven framework for human-machine expertise process. *Available at SSRN 3982968*.
- [13] Serge Sonfack Souchio, Laurent Geneste, and Bernard Kamsu Foguem. Modeling and sharing knowledge in expertise processes. *Enterprise Interoperability IX : Interoperability in the Era of Artificial Intelligence*, 10 :241, 2023.