



École interdisciplinaire en numérique de la santé

Des données aux modèles, de la logique aux relations

Une introduction à la modélisation et à la détermination des exigences

EINS_2024

Luc LAVOIE (luc.lavoie@usherbrooke.ca)

—

EINS/Scriptorium/EINS2024-NDC_Lavoie_Luc, version 1.0.0.b, en date du 2024-05-30

Sommaire

Les objectifs ciblés sont les suivants :

1. Caractériser le problème de mise en place de systèmes d'information en santé d'un point de vue informatique.
2. Caractériser la solution de prédilection : la modélisation relationnelle.
3. Présenter l'essentiel des possibilités, des moyens, des défis et des limites de la modélisation relationnelle.
4. Motiver le recours aux ontologies appliquées pour la représentation des connaissances soutenant les systèmes d'information en santé.

Mise en garde

La trame principale du document est celle de la présentation de la méthode, elle sera toutefois annotée à l'aide de balises distinctives :



Une explication ou un point de vue complémentaire.



Une anticipation relative au contenu du document.



Une étape d'auto-apprentissage à réaliser en atelier.

Plan

Le problème	5
1. Une démarche	10
2. Un cas	12
3. Trois réflexions	63
Remerciements	64
Références.....	65

Le problème

- Comment accéder aux données de santé?
 - Ces données sont-elles suffisantes pour faire la prévention, le soin et la recherche en santé?

Le problème (bis)

- Comment accéder aux données *requises pour la prévention, le soin et la recherche* en santé?
 - La signification d'une donnée est-elle toujours univoque ?
 - Est-ce que la donnée est suffisante en elle-même ?

Le problème (ter)

- Comment accéder aux données *et les interpréter (correctement)*?
 - Ce problème est-il susceptible d'avoir une solution consensuelle, indépendamment des cultures, des sociétés, des états, des ordres professionnels et des intérêts privés?
 - Ce problème est-il unique ou ne faudrait-il pas considérer une famille de problèmes, une famille de solution?



Constats et pistes

- Plusieurs solutions partielles aux problèmes d'accès aux données coexistent les organisations et les réseaux de santé.
- Quels que soient nos efforts, il est vraisemblable que la couverture de ces solutions demeurera partielle et, pour cette raison, il serait souhaitable qu'elles soient interopérables.
- Quels que soient nos efforts, il est vraisemblable que l'interprétation de ces données demeurera plurielle et, pour cette raison, il serait souhaitable qu'elle se fasse sur la base de processus et de modèles documentés, ouverts et traçables.



Atelier, étape 1

- Puisqu'il y aura plusieurs modèles, il importe de se doter d'une démarche pour les élaborer.
- Puisqu'il y aura plusieurs modèles, il faut déterminer un méta-modèle facilitant:
 - le raisonnement,
 - l'interopérabilité,
 - la documentation,
 - l'évolutivité,
 - la traçabilité.

1. Une démarche

1. Caractériser le problème.
2. Caractériser les solutions.
3. Concevoir, décrire et vérifier les solutions.
4. Choisir certaines solutions.
5. Expérimenter et valider celles-ci.
6. Tirer les conclusions.



Atelier, étape 2

Explicitons maintenant notre démarche tout en l'appliquant à notre premier problème :

- Trouver **LE** méta-modèle !

2. Un cas

2.1. Caractérisation du problème

- Cerner un problème afin de faciliter la solution passe par l'analyse et la modélisation dudit problème et donc d'une caractérisation initiale susceptible d'orienter l'analyse.
- Comparer un problème à d'autres est riche en enseignement, voire en solutions existantes ou adaptables.
- Choisir une solution parmi d'autres passe par la comparaison de celles-ci aux autres solutions.



Commençons par deux formes de caractérisation :

- les dimensions
- les besoins

2.1.1. Les dimensions, caractérisation primaire et partielle

- **Volume**: quantité de données devant être reçues, traitées, stockées, produites.
- **Variété**: diversité et complexité des types utilisés par le modèle.
- **Vélocité**: débit de données entrantes et sortantes.
- **Variabilité**: relativité en termes d'agent, de spatio-temporalité, de perspective, de marge d'erreur et d'incertitude.
- **Valeur**: richesse analytique des données (de laquelle découlent les valeurs personnelles, sociales, scientifiques, politiques, financières, etc.).
- **Virtualité**: synthétisation [agrégation] des sources de données distribuées.
- **Vertu**: gouvernance et sécurité des données.

Dimensions typiques dans le domaine de la santé

Comment ces dimensions se comparent-elles relativement à celles d'autres domaines tels que la logistique, les télécommunications, le contrôle-commande de systèmes embarqués mobiles ou la production d'énergie ?

- **Volume :** pas considérable *hors génomique et imagerie*
- **Variété :** considérable
- **Vélocité :** pas considérable
- **Variabilité :** considérable
- **Valeur :** *perception très variable*
- **Virtualité :** considérable
- **Vertu :** complexe, sensible, débattu

2.1.2. Les besoins, caractérisation secondaire et partielle

procédé

méthode (normalement systématique, voire formalisée) destinée à faire quelque *chose*, à produire quelque *chose* ou, plus généralement à obtenir un résultat.

processus

ensemble d'activités conforme à un procédé qui en détermine, entre autres, les dépendances.

activité

suite de tâches.

tâche

action portant sur une *chose*.

chose

objet matériel ou informationnel.

besoin

chose considérée nécessaire à la définition d'un procédé ou au déroulement d'un processus (d'une activité, d'une tâche, d'une action); ne pas confondre avec **désir**, **attente** ou **exigence**.



Atelier, étape 3

- Les besoins suivants sont souvent mentionnés :
 - soutenir une démarche systématique de modélisation
 - soutenir le raisonnement
 - soutenir l'interopérabilité
 - soutenir la documentation
 - soutenir l'ouverture
 - soutenir la traçabilité, voire l'explicabilité
- Les décrire et les compléter.

2.2. Caractérisation des solutions

- En présence d'une proposition de solution, il faut s'assurer qu'elle en est effectivement une.
- En présence de plusieurs solutions, il faut pouvoir les comparer.



Commençons par une forme de caractérisation, les exigences, et une façon de les utiliser, l'adéquation.

2.2.1. Exigences

Les exigences ont pour but de déterminer :

- les conditions **nécessaires et suffisantes** pour qu'une solution soit acceptable ;
- les caractéristiques **mesurables pertinentes** permettant de comparer deux solutions.

Procédés

Plusieurs procédés ont été proposés afin de permettre la détermination des exigences. Ces procédés se distinguent par l'organisation des activités suivantes et les méthodes préconisées pour chacune.

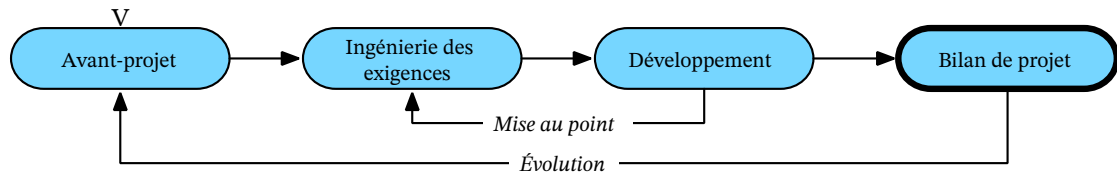
1. exploration
2. analyse
3. spécification
4. vérification
5. validation

Cycle de vie

Ces procédés spécifiques s'insèrent dans un contexte plus large qui embrasse la totalité du cycle de vie du produit (logiciel ou sous-système).

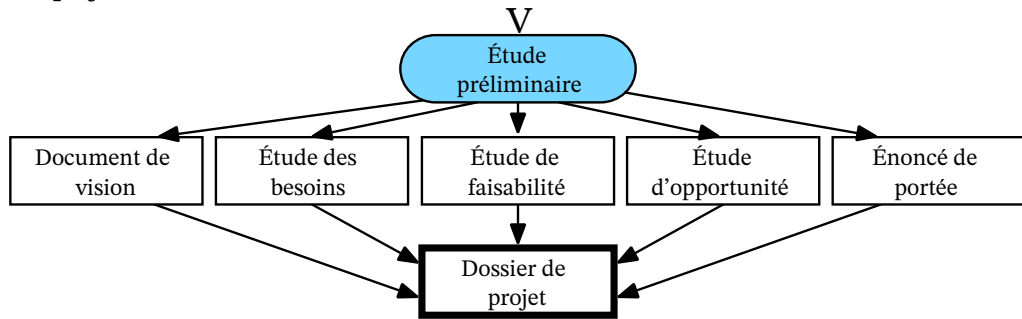
Les quatre prochains diagrammes illustrent ce contexte.

2.2.1.1. Vue globale



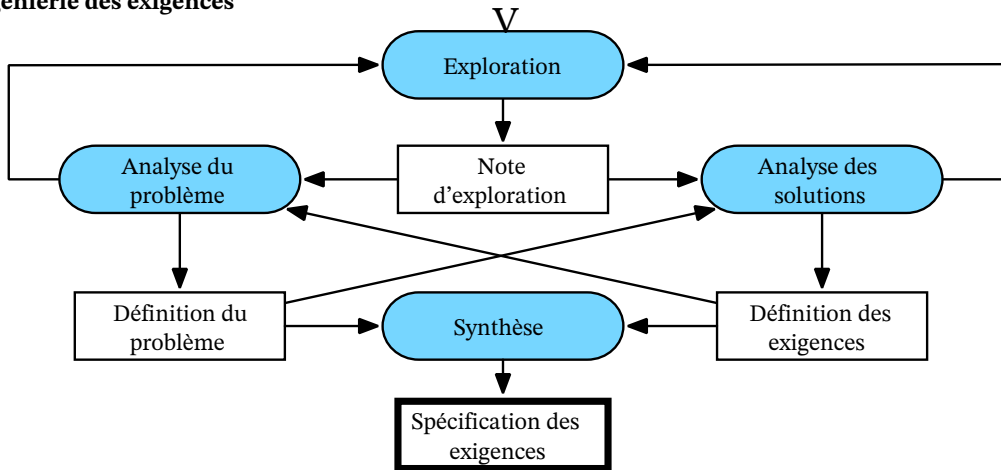
2.2.1.2. Avant-projet

Avant-projet



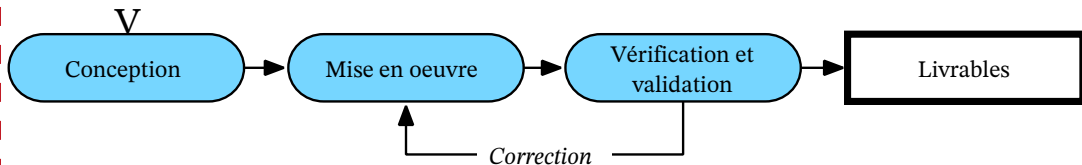
2.2.1.3. Ingénierie des exigences

Ingénierie des exigences



2.2.1.4. Développement

Développement (*)



(*) Un grand nombre de livrables sont produits par les différents processus. Ils varient considérablement selon la méthode utilisée et la solution retenue.

Atelier, étape 4

Exigences pratiques



- Capacité de soutenir un processus de diagnostic puis de choix de traitement (fondée sur des données probantes en regard de pratiques médicales reconnues).
 - Corolaire 1 : capacité de décrire l'état du patient.
 - Corolaire 2 : capacité de formuler un diagnostic.
 - Corolaire 3 : capacité de décrire un traitement.



Atelier, étape 5

Exigences induites A

- Capacité de transposer les théories et les modèles scientifiques dans un cadre unifié (appelé modèle).
 - Corolaire 4: le méta-modèle doit fournir un formalisme permettant de décrire les théories et les modèles scientifiques.
- Capacité de comparer deux modèles.
- Capacité d'évaluer l'adéquation d'un modèle.

Atelier, étape 6

Exigences induites B



- Capacité de formuler des hypothèses et de les vérifier (au sein du modèle).
 - Corolaire 5: le méta-modèle doit permettre le raisonnement et l'utilisation de données probantes en regard de théories et de modèles scientifiques décrits à l'aide du formalisme.
 - Considération pratique: il serait souhaitable que le méta-modèle permette la vérification automatisée de prédicats en regard de données.



L'exploration n'est pas terminée :

- une clarification est certainement possible ;
- d'autres exigences découlent des besoins exposés.

La spécification doit s'ensuivre afin

- de s'assurer que chaque exigence soit *claire, exacte, complète et concise* ;
- d'associer à chaque exigence un critère objectif permettant de vérifier qu'elle est satisfaite.

La vérification et la validation doivent s'ensuivre afin

- de minimiser les risques de devoir recommencer la modélisation qui en découlera.

2.2.2. Adéquation

L'adéquation détermine à la fois la façon d'utiliser les exigences, de les concilier, mais aussi de les compléter au moment d'une évaluation globale d'une solution.

Critères absolus

1. Validité

- conformité au modèle.

2. Efficacité

- conformité aux exigences.

3. Cohérence

- non-contradiction interne.

Critères relatifs

1. Complétude

- couverture « suffisante » du problème.

2. Efficience

- consommation « acceptable » de ressources.

3. Évolutivité

- adaptation « aisée » aux changements.

Méta-critères

1. Réfutabilité

- comporte les mécanismes permettant d'exprimer et d'évaluer les « falsificateurs potentiels ».

2. Acceptabilité

- comporte les mécanismes permettant d'exprimer et d'évaluer les « critères éthiques ».

Synthèse

- Les critères relatifs sont souvent décomposés en sous-critères auxquels sont associés un protocole de mesure et un poids de façon à permettre une évaluation globale pondérée. D'autres méthodes d'évaluation globale sont possibles.
- La réfutabilité est considérée en regard d'une épistémologie donnée; en conséquence, une solution doit préciser son cadre épistémologique.
- L'acceptabilité est considérée en regard d'une éthique donnée; en conséquence, une solution doit préciser cadre éthique.

Atelier, étape 7

Aux fins de l'exercice, il est suggéré d'utiliser :



- Pour l'épistémologie : celle de Karl Popper, avec la réfutabilité discrète (de préférence binaire).
- Pour l'éthique : celle de Karl Popper, avec le principe de protection de la liberté par l'État... protection qui passe par sa limitation (seulement lorsque) nécessaire et suffisante (dans tous les cas)!

2.3. Description d'une première solution

La capacité de soutenir le raisonnement, voire de l'automatiser, est au coeur des capacités recherchées et des exigences à satisfaire.

- Raisonnement
 - Le raisonnement est une suite de propositions conformes à des règles de déduction convenues et fondée sur un ensemble restreint d'axiomes également convenus.
- Logique
 - La logique décrit les lois du raisonnement gouvernant les prédicats (donc les propositions).
- Relation
 - La relation est une représentation privilégiée du prédicat qui en facilite le calcul grâce à une algèbre appropriée [adéquate].
- Typage
 - Le typage, fondé sur la théorie des ensembles, réduit les risques d'ambiguïté, de paradoxe et d'indécidabilité dans la formulation et le calcul des prédicats.

2.3.1. Typage

- Valeur, représentation, type
 - parce qu'il faut des atomes, les identifier et les catégoriser.
- Type de base et sous-type
 - parce qu'il faut limiter l'univers du discours au juste.
- Type scalaire et non scalaire
 - parce qu'il faut exposer la structure ou pas.
- Type prédéfini et constructeur de type
 - parce qu'il ne faut pas continuellement réinventer la roue.

2.3.2. Modèle relationnel

- Concepts
 - valeur
 - fonction
 - variable \rightarrow état
 - procédure
 - automatisme
- Structure
 - attribut
 - tuple
 - relation
 - base

2.3.2.1. Attribut

- Un attribut est un couple formé d'un identifiant **a** et d'un type **D**, noté **a:D**.
- Par abus de langage, lorsque le contexte le permet, il est usuel de désigner l'attribut par son seul identifiant; ainsi écrit-on l'attribut **a**.

2.3.2.2. Tuple

○ Soit a_i des identifiants distincts et D_j des types, un tuple t est défini comme suit:

- $t \triangleq (\{a_1:D_1, a_2:D_2, \dots, a_n:D_n\}; \{(a_1,v_1), (a_2,v_2), \dots, (a_n,v_n)\})$
- avec $\forall i: 1 \leq i \leq \text{deg}(t) \Rightarrow \text{val}(t, a_i) \in \text{def}(t, a_i)$

○ où

- $\text{def}(t) = \{a_1:D_1, a_2:D_2, \dots, a_n:D_n\}$ entête de t
- $\text{def}(t, a_i) = D_i$ type de l'attribut a_i de t
- $\text{val}(t) = \{(a_1,v_1), (a_2,v_2), \dots, (a_n,v_n)\}$ valeur de t
- $\text{val}(t, a_i) = v_i$ valeur de de l'attribut a_i de t
- $\text{deg}(t) = n$ degré de t
- $\text{id}(t) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ les identifiants d'attributs de t

2.3.2.3. Relation

○ Soit a_i des identifiants distincts, D_j des types et t_k des tuples, une relation R est définie comme suit:

- $R \triangleq (\{a_1:D_1, a_2:D_2, \dots, a_n:D_n\}; \{t_1, t_2, \dots, t_m\})$
- avec $\forall i: 1 \leq i \leq \text{card}(R) \Rightarrow \text{def}(R) = \text{def}(t_i)$

○ Où

- | | |
|--|---------------------------------|
| • $\text{def}(R) = \{a_1:D_1, a_2:D_2, \dots, a_n:D_n\}$ | entête de R |
| • $\text{def}(R, a_i) = D_i$ | type de a_i de R |
| • $\text{val}(R) = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ | valeur de R |
| • $\text{deg}(R) = n$ | degré de R |
| • $\text{card}(R) = m$ | cardinalité de R |
| • $\text{id}(R) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ | identifiants d'attributs de R |

2.3.2.4. Base

- Soit v_i des identifiants distincts, D_j des types de relation et r_k des (valeurs de) relations, une base (de données) B est définie comme suit:

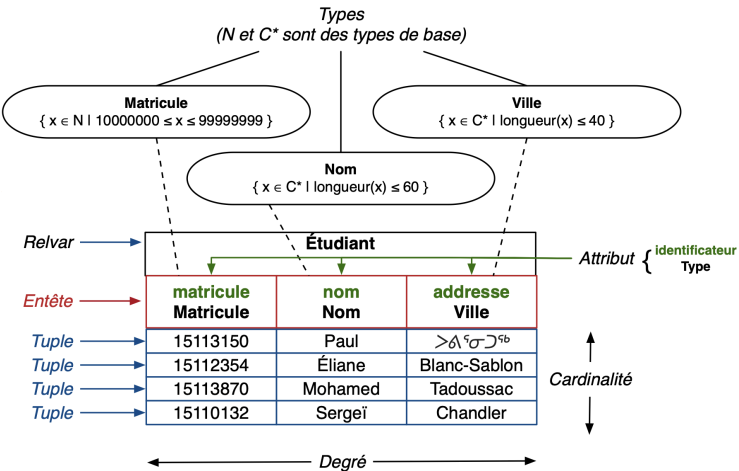
- $B \triangleq (\{v_1:D_1, v_2:D_2, \dots, v_n:D_n\}; \{r_1, r_2, \dots, r_m\})$
- avec $\forall i: 1 \leq i \leq \text{card}(B) \Rightarrow \text{def}(B, v_i) = \text{def}(r_i)$

Où

- $\text{def}(B) = \{v_1:D_1, v_2:D_2, \dots, v_n:D_n\}$ entête de B
- $\text{def}(B, a_i) = D_i$ type de a_i de B
- $\text{val}(B) = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ valeur de B
- $\text{deg}(B) = n$ degré de B
- $\text{id}(B) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ensemble des identifiants de variables de relation de B

2.3.2.5. Les composantes de la relation

RELVAR Étudiant {matricule : Matricule, nom : Nom, adresse : Ville}



2.3.2.6. La densification de la représentation grâce au typage

Une relation comprenant quatre tuples

matricule: Matricule	nom: Nom	adresse: Ville	
matricule: Matricule matricule: 15113150	nom: Nom nom: Paul	adresse: Ville adresse: >Δ ^ς σ ^ς ᵇ	t1
matricule: Matricule matricule: 15112354	nom: Nom nom: Éliane	adresse: Ville adresse: Blanc-Sablon	t2
matricule: Matricule matricule: 15113870	nom: Nom nom: Mohamed	adresse: Ville adresse: Tadoussac	t3
matricule: Matricule matricule: 15110132	nom: Nom nom: Sergeï	adresse: Ville adresse: Chandler	t4

La représentation compacte usuelle de cette même relation

matricule: Matricule	nom: Nom	adresse: Ville
15113150	Paul	>Δ ^ς σ ^ς ᵇ
15112354	Éliane	Blanc-Sablon
15113870	Mohamed	Tadoussac
15110132	Sergeï	Chandler

2.3.3. Algèbre relationnelle

Opérateurs relationnels courants

- **renommage**, $R \rho a:b$, la relation comprenant tous les tuples formés à partir d'un tuple de R dont l'attribut de nom a est remplacé par un attribut de nom b de même valeur, et rien d'autre ;
- **restriction**, $R \sigma c$, la relation comprenant tous les tuples de R satisfaisant la condition c , et rien d'autre ;
- **projection**, $R \pi x$, la relation comprenant tous les tuples formés à partir d'un tuple de R dont seuls les attributs dont le nom est parmi x ont été conservés, et rien d'autre ;
- **jointure**, $R \bowtie S$, la relation comprenant tous les tuples formés des attributs d'un tuple de R et de ceux d'un tuple de S dont les attributs de même nom sont de même valeur, et rien d'autre ;

Opérateurs ensemblistes courants

- **union**, $R \cup S$, la relation comprenant tous les tuples de R et tous les tuples de S , et rien d'autre ;
- **intersection**, $R \cap S$, la relation comprenant tous les tuples qui sont à la fois dans R et dans S , et rien d'autre ;
- **différence**, $R - S$, la relation comprenant tous les tuples de R qui ne sont pas dans S , et rien d'autre.
- **produit**, $R \times S$, la relation comprenant tous les tuples formés des attributs d'un tuple de R et de ceux d'un tuple de S , et rien d'autre ;

2.3.3.1. Intersection, union, différence

Intersection

$$R \cap S$$

A	B
R	
S	

Union

$$R \cup S$$

A	B
R	
S	

Différence

$$R - S$$

A	B
R	
S	

- Ces trois opérations ensemblistes ne sont bien définies que si les entêtes des opérandes sont identiques.

2.3.3.2. Restriction, projection, jointure

Restriction
 $R \sigma \text{ cond}$

A	B	C
a1	b1	c1
a2	b2	c2
a3	b3	c3

Projection
 $R \pi \{A, C\}$

A	B	C
a1	b1	c1
a2	b2	c2
a3	b3	c3

Jointure naturelle
 $R \bowtie S$

A	B
a1	b1
a2	b1
a3	b3
a4	b4

 \bowtie

B	C
b1	c1
b2	c2
b3	c3
b3	c4

 $=$

A	B	C
a1	b1	c1
a2	b1	c1
a3	b3	c3
a3	b3	c4

- L'opération de projection n'est bien définie que si tous les identifiants d'attributs sont définis dans l'entête de la relation.
- L'opération de restriction n'est bien définie que si tous les identifiants d'attributs de la condition sont définis dans l'entête de la relation.

2.3.3.3. Renommage

Renommage
 ρ A:C

A	B	ρ A:C =	C	B
a1	b1		a1	b1
a2	b2		a2	b2
a3	b3		a3	b3

- L'opération de renommage n'est bien définie que si l'identifiant à changer est défini dans l'entête de la relation et que le nouvel identifiant ne l'est pas.

2.3.3.4. Panoplie minimale d'opérations

Nous retirons l'intersection des opérations de base, mais y ajoutons le renommage.

Le nombre d'opérations de base est donc limité à six :

- Trois opérations relationnelles : projection, restriction et jointure.
- Deux opérations ensemblistes : union et différence.
- Une opération structurelle : renommage.

Restriction $R \sigma \text{ cond}$

A	B	C
a1	b1	c1
a2	b2	c2
a3	b3	c3

Projection $R \pi \{A, C\}$

A	B	C
a1	b1	c1
a2	b2	c2
a3	b3	c3

Jointure (naturelle) $R \bowtie S$

A	B	B	C
a1	b1	b1	c1
a2	b1	b2	c2
a3	b3	b3	c3
a4	b4	b3	c4

Différence $R - S$

A	B
R	
S	

Union $R \cup S$

A	B
R	
S	

Renommage $R \rho A:C$

A	B	C	B
a1	b1	a1	b1
a2	b2	a2	b2
a3	b3	a3	b3

2.4. Vérification de la solution



Atelier, étape 8

Le méta-modèle répond-il aux exigences ?

Le méta-modèle est-il adéquat ?

Mêmes questions pour le modèle !

2.4.1. Satisfaction des exigences du méta-modèle

La démonstration de la satisfaction des besoins présentés à l'étape 3 et des exigences spécifiées aux étapes 4, 5 et 6 reprend les travaux de nombreux scientifiques (et parmi les plus grands). Travaux qui furent revus et commentés par les pairs, publiés et rendus accessibles.

Voir les remerciements et les références à la fin du présent document.

2.4.2. Adéquation du méta-modèle

- Critères absolus
 1. Validité : oui.
 2. Efficacité : oui.
 3. Cohérence : oui.
- Critères relatifs
 1. Complétude : suffisante (complétude au sens de Turing démontrée).
 2. Efficience : parmi les solutions générales connues, la plus efficiente.
 3. Évolutivité : pas moins bonne que les autres !
- Méta-critères
 1. Réfutabilité (en fonction de l'épistémologie de référence).
 2. Acceptabilité (en fonction de l'éthique de référence).

2.5. Première expérimentation

On compte sur vous pour réaliser cette expérimentation lors des ateliers !



Atelier, étape 9

- Analyse du problème posé par le cas d'études
- Définition des besoins
- Modélisation
- Spécification des exigences
- Prototype de solution
- Vérification et Validation

Vive l'APP !

2.6. Conclusions préliminaires

- En fait, il s'agit plutôt des conclusions anticipées.
- Autrement dit, les hypothèses à vérifier lors de l'expérimentation.
- Hypothèses découlant de l'analyse du méta-modèle et de celle de la littérature scientifique contemporaine.



Atelier, étape 10

- Bilan de l'expérimentation
 - Acquis, défis, pistes
- Bilan du méta-modèle
 - Acquis, défis, pistes
- Bilan de la formation
 - Acquis, défis, pistes

2.6.1. Acquis et défis

Pourquoi présenter acquis et défis conjointement ?

Parce que de nombreux acquis théoriques tardent encore à être mis à disposition, sinon utilisés, en pratique !

Ambigüité

Une certaine amélioration grâce à l'algèbre relationnelle et aux raisonneurs, mais le problème demeure en théorie (lire notre ami Gödel) et en pratique (complexité algorithmique des algorithmes de raisonnement).

Complétude

La finitude résout théoriquement le problème de complétude... mais persiste toujours en pratique (voir complexité algorithmique et volume de données).

Données manquantes

Plusieurs solutions ont été proposées, dont deux seulement sont solides (Codd:logique4V et Date:décomposition); malheureusement, aucun langage utilisé couramment ne permet de les appliquer commodément.

Agents

Résolu en théorie — en pratique : des enjeux de complexité et d'expressivité sont toujours présents.

Axes spatiaux

Résolu en théorie — en pratique : outils disponibles, mais la complexité demeure et l'expressivité ainsi que l'efficacité demande encore des avancées significatives.

Axes temporels

Plusieurs approches intéressantes, aucune exhaustive, peu d'outils en pratique... mais qu'est-ce que le temps ?

Cohérence

Que se passe-t-il si on ajoute l'exigence suivante « Capacité de transposer les règles de pratique (tant médicales que cliniques) » dans le modèle ?

2.6.2. Pistes

- S'appuyer sur les connaissances dument documentées, établies et, de préférence, formellement démontrées.
- Réduire les sources d'ambigüité en faisant appel au principe d'universalité, aux normes et aux standards.
- Utiliser les ontologies appliquées pour décrire les prédicats et les entités auxquelles ils font référence.

3. Trois réflexions

- Du problème à la solution,
 - *en passant par les besoins, les modèles, les exigences et l'adéquation.*
- Des données aux modèles,
 - *en passant par la connaissance.*
- Du raisonnement aux relations,
 - *en passant par la logique.*

Remerciements

- Pythagore (vers -580 à -495), Socrate (vers -470 à -399),
- Platon (vers -428 à -347), Aristote (vers -384 à -322),
- Euclide (vers -330 à -270), Ératosthène (vers -276 à -194),
- Pappus (vers 290 à 350), Hypatie (vers 355 à 415),
- *Descartes (1596 à 1650), Pascal (1623 à 1662),*
- Russel (1872 à 1970), Wittgenstein (1889 à 1951), Gödel (1906 à 1978),
- Chomsky (1928...), Hoare (1934...), Floyd (1936-2001),
- Codd (1923 à 2003), Date (1941...).

Références

[Bray2002a]

Ian K. BRAY;

An introduction to requirements engineering;

Addison-Wesley (Pearson Education), Harlow (UK), 2002;

ISBN 978-0-201-76792-6.

[Codd1970a]

Edgard F. CODD;

A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks;

Communications of the ACM, 13(6), pp. 377–387, 1970;

doi:10.1145/362384.362685.

[Codd1990a]

Edgard F. CODD;

The Relational Model for Database Management: Version 2;

Addison-Wesley Longman Publishing, Boston (MA, USA), 1990;

ISBN 0-201-14192-2.

[Date1998a]

Chris J. DATE, Hugh DARWEN;

First Edition : *Foundation for Object/Relational Database Systems: The Third Manifesto* ;
Addison-Wesley Redwood City (CA, US), 1998 ; ISBN 0-201-30978-5.

Second Edition : *Foundation for Future Database Systems: The Third Manifesto* ;
Addison-Wesley, Redwood City (CA, US), 2000 ; ISBN 0-201-70928-7.

Third edition : *Databases, types, and the relational model: The third manifesto* ;
Addison-Wesley (Pearson Education), 2007 ; ISBN 0-321-39942-0.

Third revised edition : *Databases, types, and the relational model: The third manifesto* ;
2014, <https://www.dcs.warwick.ac.uk/~hugh/TTM/DTATRM.pdf> (consulté le 2024-05-30).

[Date2012a]

Chris J. DATE;

Database Design & Relational Theory;

O'Reilly Media, 2012;

ISBN 978-1-449-33801-6.

[Date2014a]

Chris J. DATE, Hugh DARWEN, Nikos A. LORENTZOS;

Time and Relational Theory: Temporal Databases in the Relational Model and SQL;

Morgan Kaufmann, Waltham (MA, US), 2014;

ISBN 978-0-12-800631-3.

[Date2020a]

Chris J. DATE;

Logic and Relational Theory;

Technics Publications, Basking Ridge (NJ, US), 2020;

ISBN 978-1634628754.

[DoD2010a]

Deputy Chief Information Officer;

DoDAF — DoD Architecture Framework;

Version 2.02, U. S. Department of Defense, 2010;

<http://dodcio.defense.gov/Library/DoD-Architecture-Framework/> (consulté le 2024-05-30).

[Hull2011a]

Elizabeth HULL, Ken JACKSON, Jeremy DICK;
Requirements Engineering;
Third Edition, Springer-Verlag, London (UK), 2011 ;
ISBN 978-1-84996-405-0.

[Jackson2001a]

Michael JACKSON;
Problem frames: analysing and structuring software development problems;
Addison-Wesley, 2001 ;
ISBN 978-0-201-59627-4.

[Khnaisser2015a]

Christina KHNAISSER, Luc LAVOIE, Hassan DIAB, Jean-François ETHIER;
Architecture et méthode de construction d'entrepôts de données au coeur des systèmes informationnels régionaux de santé;
Rapport de recherche, Groupe de recherche interdisciplinaire en informatique de la santé (<http://GRIIS.ca>), Université de
Sherbrooke, Sherbrooke (QC, CA), juin 2015 .

[Khnaisser2015b]

Christina KHNAISSER, Luc LAVOIE, Hassan DIAB, Jean-François ETHIER;

Data Warehouse Design Methods Review: Trends, Challenges and Future Directions for the Healthcare Domain;

ADBIS 2015 - 19th East-European Conference on Advances in Databases and Information Systems, Poitiers (FR);

DOI 10.1007/978-3-319-23201-0_10.

[Popper1935a]

Karl POPPER;

Logik der Forschung;

Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft, Julius Springer, Wien 1935.

Traduction française : *Logique de la recherche*; Payot, Paris, 1973.

[Popper1963a]

Karl POPPER;

Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge;

Routledge & Kegan Paul, London, 1963; ISBN 0415043182.

Traduction française : *Conjectures et réfutations*; Payot, Paris, 1985.

[Popper1972a]

Karl POPPER;

Objective Knowledge: An Evolutionary Approach;

Clarendon, Oxford, 1972, Revised edition 1979; ISBN 01987502421972.

Traduction française : *La connaissance objective*; Aubier, Paris, 1991.

Produit le 2024-05-31 10:44:06 UTC



École interdisciplinaire en numérique de la santé