

# Bases de données

**Données manquantes –  
absentes, inconnues, nulles, facultatives,  
etc.**

TMR\_07

v242a

2025-02-18

Christina.Khnaisser@USherbrooke.ca

Luc.Lavoie@USherbrooke.ca

© 2018-2021, **Myfis** (<http://info.usherbrooke.ca/lavoie>)  
CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

## Plan

- **Préambule**
- ***De quelques logiques non classiques***
- **Approches par modification de la théorie relationnelle**
- **Approches par modélisation**
- **Quelle approche choisir ?**
- ***De la théorie relationnelle aux modèles relationnels***
- **Vocabulaire**
- **Références**

### Note

*les sections en italiques peuvent être omises en première lecture.*

## Préambule

- Pourquoi une donnée serait-elle manquante?
  - Les réponses de SPARC!
- Un modèle simple
  - proposé par Codd
- Solutions AVEC annulabilité
- Solutions SANS annulabilité
- État de l'art

**Préambule****Données manquantes... selon SPARC (1/4)**

1. L'information est applicable, mais la valeur n'est pas encore connue (*date de décès d'une personne vivante*).
2. L'information est inapplicable (*nombre de sommets d'un cercle*).
3. L'information existe, mais il n'est pas permis (*légalement*) de l'enregistrer (*religion d'un employé*).
4. L'information existe, mais on n'a pas les moyens de trouver la valeur (*évaluation d'un employé alors qu'il travaillait pour une organisation concurrente*).
5. L'information existe, mais elle n'est pas encore enregistrée (*en raison du manque de l'employé préposé à la saisie*).

2025-02-18

MCID, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

4

SPARC (Standards Planning And Requirements Committee) est le comité de l'ANSI (American National Standards Institute)

à l'origine des premiers efforts de définition de l'architecture trischématique et de la normalisation du langage SQL.

Ses travaux se sont déroulés essentiellement de 1985 à 1992.

**Préambule****Données manquantes... selon SPARC (2/4)**

6. L'information est enregistrée, mais pas encore disponible (*texte écrit, saisi, stocké, mais pas encore publié*).
7. L'information a été enregistrée puis supprimée (*un utilisateur ne veut plus que le nom de son conjoint soit conservé*).
8. L'information est disponible, mais en changement et donc potentiellement invalide (*solde d'un compte bancaire sur lequel une opération est en cours*).
9. L'information est disponible, mais on ne sait pas si elle est fiable (*la note d'examen non encore approuvée par le doyen*).
10. L'information est disponible, mais invalide (*si une erreur s'est produite lors du calcul de la valeur*)

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

5

SPARC (Standards Planning And Requirements Committee) est le comité de l'ANSI (American National Standards Institute) à l'origine des premiers efforts de définition de l'architecture trischématique et de la normalisation du langage SQL. Ses travaux se sont déroulés essentiellement de 1985 à 1992.

## Préambule

### Données manquantes... selon SPARC (3/4)

11. La classe d'information est sécurisée (*les informations personnelles des professeurs ne sont pas accessibles aux étudiants*).
12. L'objet représentant l'information est sécurisé (*un utilisateur bloque l'accès à ses infos personnelles sur un réseau social*).
13. Une information est sécurisée durant un certain laps de temps (*le budget préalablement à sa communication au parlement*).
14. L'information est calculée à partir d'au moins une information manquante ou incertaine (*l'âge en fonction d'une date de naissance par ailleurs manquante*).

**Préambule****Données manquantes... selon SPARC (4/4)**

L'approche par « recensement » de SPARC est

- Inappropriée en regard de la définition d'un modèle relationnel
  - Les raisons de manque varient selon le contexte, la nature du problème voire la finalité de la requête. Les raisons appartiennent au domaine du problème et ne doivent pas être imposées par le modèle relationnel. Ce dernier doit cependant permettre de les définir et de les traiter.
  - Cette approche pourrait être utilisée lors de l'élaboration d'un modèle de données découlant d'un problème particulier.
- Souvent trop complexe
  - Tant pour la saisie que pour les requêtes, le nombre de cas à considérer est trop grand.

**Préambule****Données manquantes... un modèle simple (proposé par Codd)****○N**

- L'information n'est **pas applicable**.
- Dans ce cas, l'utilisation de l'annulabilité est à remettre en question; une bonne modélisation permet généralement d'éviter d'y avoir recours.

**○I**

- L'information est **inconnue**.
- Dans ce cas, l'annulabilité pourrait être légitime; la question est de savoir comment la représenter pour que cela pose le moins de problèmes possible.

2025-02-18

MCED - TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

10

Certains ont suggéré un troisième catégorie

**X**

L'information n'est **pas accessible**.

**À court terme** : le gestionnaire transactionnel permet d'éviter l'utilisation de l'annulabilité en différant la mise à disponibilité tout en conservant le contrôle des accès concurrents et en préservant la cohérence de la BD.

**À moyen et long terme** : équivalent à **I**.

Le critère séparant le court et le long terme peut être une mesure temporelle ou un événement.

Cette proposition n'a pas été retenue



**Préambule****Le choix de la communauté**

- L'approche de Codd s'est rapidement imposée.
- Nous retenons toutefois des approches précédentes qu'elles sont porteuses d'une connaissance utile dans de très nombreux contextes, mais qui est perdue si on utilise (exclusivement) l'approche de Codd.

**PRÉAMBULE****Quelles solutions ?**

- Que faire lorsqu'une donnée est manquante?
  
- Trois solutions classiques
  - corriger cette lacune à la source (dans la réalité, avant la collecte);
  - modifier le modèle pour en tenir compte;
  - introduire la notion d'*annulabilité* dans la théorie relationnelle.

**PRÉAMBULE****Solutions AVEC annulabilité****○ Avantage**

- Réduire la complexité des modèles de données  
(mais pas forcément celle des assertions sur ces modèles)

**○ Conséquences**

- Remplacement au sein de la théorie relationnelle de la logique classique par une logique non classique
  - Impact sur l'égalité, essentielle à la définition des opérateurs d'affectation, de restriction, de jointure, d'union...
  - Impact sur l'inférence logique (et en particulier la déduction) qui est nécessaire à la démonstration de l'exactitude des requêtes.
- Modification du modèle relationnel pour y introduire la dénotation du manque, grâce à l'un des deux artifices suivants :
  - un **marqueur** NUL (une propriété des attributs) ou
  - une **valeur** NULLE (ajoutée à tous les domaines).

**PRÉAMBULE****Solutions SANS annulabilité****○ Avantage**

- Conserver la théorie relationnelle telle quelle.

**○ Conséquences**

- Séparer les propositions complètes des incomplètes (par modélisation).
- Conserver les causes de manque séparément (par modélisation).

**PRÉAMBULE****État de l'art**

- Dans les années 1970, la communauté de pratique a choisi la solution avec marqueur d'annulabilité.
- Depuis, de nombreux chercheurs n'ont eu de cesse de souligner les incohérences qui en découlent et ont mis au point diverses autres propositions.
- L'émergence des bases de données temporalisées rend impraticables les solutions AVEC annulabilité.
- On constatera, à la fin du présent module, qu'il est possible de recourir aux solutions SANS annulabilité, tout en continuant d'utiliser SQL.

**PRÉAMBULE****Et SQL ?**

- En principe, le langage SQL a recours à la solution avec marqueur d'annulabilité.
- Par contre, de nombreux dialectes et le standard ISO lui-même définissent certains comportements en utilisant le concept de valeurs nulles (en particulier pour le traitement des expressions booléennes et les égalités implicites requises par les opérateurs relationnels).
- On constatera, à la fin du présent module, qu'il est néanmoins possible de recourir aux solutions SANS annulabilité, tout en continuant d'utiliser SQL.

## De quelques logiques non classiques

- Quatre valeurs logiques (4VL, Belnap)
- Trois valeurs (3VL, Priest, Belnap, Kleene)
- Et SQL ?

2025-02-18

MCID, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Logique non classique

4V

- B : sur-déterminé; N : sous-déterminé

$f_{\neg}$		$f_{\wedge}$	T	B	N	F	$f_{\vee}$	T	B	N	F
T	F	T	T	B	N	F	T	T	T	T	T
B	B	B	B	B	F	F	B	T	B	T	B
N	N	N	N	F	N	F	N	T	T	N	N
F	T	F	F	F	F	F	F	T	B	N	F

- La recommandation de Codd... mais elle n'a pas été suivie par le comité de standardisation du langage SQL.



## Logique non classique

### 3V

P3 (Priest : – I est surdéterminée – T et I sont vraies – avec tautologie) – **choix possible**

$\neg$		$\wedge$	T	I	F	$\vee$	T	I	F	$\rightarrow$	T	I	F	$\leftrightarrow$	T	I	F
T	F	T	T	I	F	T	T	<b>T</b>	T	T	T	I	F	T	T	I	F
I	I	I	I	I	<b>F</b>	I	<b>T</b>	I	I	I	<b>T</b>	I	I	I	I	I	I
F	T	F	F	<b>F</b>	F	F	T	I	F	F	T	<b>T</b>	T	F	F	I	T

B3 (Belnap, variante faible : I est réductrice – T seule valeur vraie – avec tautologie) – **choix possible**

$\neg$		$\wedge$	T	I	F	$\vee$	T	I	F	$\rightarrow$	T	I	F	$\leftrightarrow$	T	I	F
T	F	T	T	I	F	T	T	<b>I</b>	T	T	T	I	F	T	T	I	F
I	I	I	I	I	<b>I</b>	I	<b>I</b>	I	I	I	<b>I</b>	I	I	I	I	I	I
F	T	F	F	<b>I</b>	F	F	T	I	F	F	T	<b>I</b>	T	F	F	I	T

K3 (forte : I est sous-déterminée – T seule valeur vraie – **pas de tautologie**) – **choix impraticable**

K3 n'est donc pas représentée ici

SQL utilise tantôt P3 et tantôt B3, selon le contexte....

Refaire les tableaux dans l'ordre (TFI ou FTI)

## Logique non classique SQL

- CHECK satisfait ssi T ou U comme P3
- WHERE satisfait ssi T un mélange de P3 et B3!
- Chercher la cohérence !

OR	true	false	unknown
true	true	true	true
false	true	false	unknown
unknown	true	unknown	unknown

AND	true	false	unknown
true	true	false	unknown
false	false	false	false
unknown	unknown	false	unknown

P	NOT P
true	false
false	true
unknown	unknown

IS	true	false	unknown
true	true	false	false
false	false	true	false
unknown	false	false	true

## Approches par modélisation

- Décompositions
  - PJ (projection-jointure)
  - RU (restriction-union)
- Modélisation du manque
  - selon McGovern (PJ)
  - selon Darwen (RU)
- Modélisation du manque et de sa cause
  - selon Darwen (PJ+RU)
- Voir
  - <http://www.dcs.warwick.ac.uk/~hugh/TTM/Missing-info-without-nulls.pdf>

**Approches par modélisation**  
**Décomposition de projection-jointure (PJ)**

- Au tableau ou dans les exemples de cours!

2025-02-18

MCED, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Approches par modélisation

### Décomposition de restriction-union (RU)

- Au tableau ou dans les exemples de cours!

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Approches par modélisation

### Modélisation du manque selon McGovern (PJ)

- Au tableau ou dans les exemples de cours!

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Approches par modélisation

### Modélisation du manque selon Darwen (RU)

- Au tableau ou dans les exemples de cours!

2025-02-18

MCED, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Approches par modélisation

### Modélisation du manque et de sa cause selon Darwen (PJ+RU)

- Au tableau ou dans les exemples de cours!

2025-02-18

MCED - TMR 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec



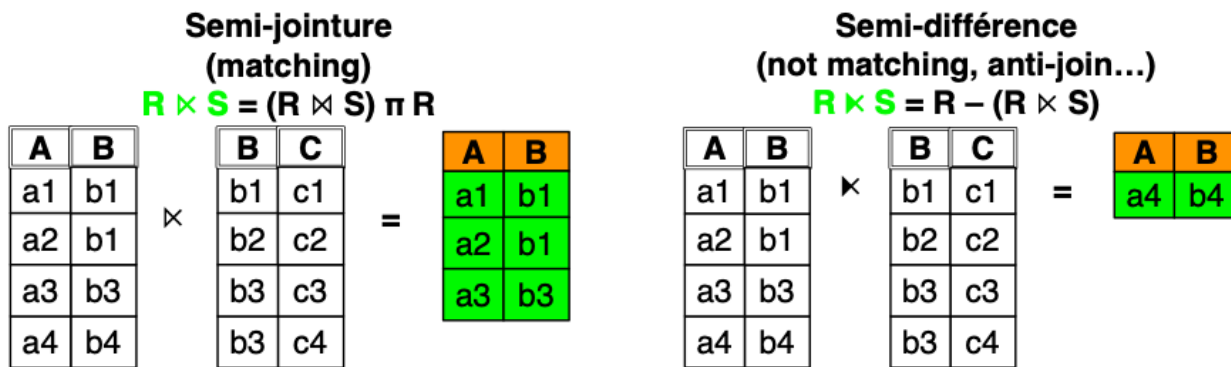
**Décomposition projet-jointure**  
**Décomposition par restriction-union**

- Au tableau !
- Voir exemples Naissance et Décès

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## Deux opérateurs relationnels prévus pour ça!



- Les opérateurs MATCHING et NOT MATCHING ne sont malheureusement pas disponibles en SQL
- On se débrouillera donc avec la jointure externe (voir SQL\_08).

Pour l'extension,  $F$  est la relation correspondant à la fonction  $f$  et  $f'$  est l'attribut de  $F$  correspondant à l'image de  $f$ . Au besoin les opérandes de  $F$  pourront être renommés pour correspondre aux attributs idoines de  $R$ .

Pour le produit, on suppose que  $R$  et  $S$  n'ont aucun attributs partagés (sinon ceux-ci doivent être renommés au préalable).

Remarquons que (par définition)

$$(R \ltimes S) \cup (R \bowtie S) = R$$

et

$$(R \ltimes S) \cap (R \bowtie S) = \emptyset$$

- Les opérateurs MATCHING et NOT MATCHING ne sont malheureusement pas disponibles en SQL
- On se débrouillera donc avec la jointure externe

## Quelle approche choisir ?

- Solution AVEC annulabilité 4V
  - La perte de causalité
  - La complexité logique
- Solution AVEC annulabilité 3V
  - La perte de sens et de causalité
  - La complexité logique
- Solution SQL
  - Tous les défauts de la 3V et en plus
    - L'incohérence logique (P3 vs B3)
    - Les dangers du *nul*
- Solution par modélisation
  - Le sens et la causalité
  - La flexibilité (du modèle)
  - La lourdeur des décompositions... en SQL

**Quelle approche choisir ?****Solution AVEC annulabilité 4V**

- Une solution scientifiquement acceptable mais qui nécessite un apport en modélisation sous peine d'encourir
  - une perte de sens (NA)
  - une perte de causalité (IN)
- La complexité logique induite par la logique 4V demeure un enjeu important

**Quelle approche choisir ?****Solution AVEC annulabilité 3V**

- Une solution scientifiquement acceptable mais qui nécessite un apport en modélisation sous peine d'encourir
  - une confusion entre IN et NA
  - une perte de causalité (IN)
- La complexité logique induite par la logique 3V demeure un enjeu important

**Quelle approche choisir ?****Solution SQL**

- Une solution peu acceptable scientifiquement en raison
  - de l'incohérence du modèle logique
- Une solution qui nécessite de toutes façons un apport en modélisation sous peine d'encourir
  - une confusion entre IN et NA
  - une perte de causalité (IN)
- La complexité logique induite par la logique SQL demeure un enjeu d'autant plus important qu'elle comporte deux contextes interprétatifs (CHECK et WHERE).

## Quelle approche choisir ?

### Solution SQL : les dangers du null!

Qui sommes-nous pour prétendre maîtriser une telle solution, alors que les experts d'Oracle n'y arrivent manifestement pas !

😊

De: oracle-acct\_ww@oracle.com  
 Objet: Nom d'utilisateur de votre compte Oracle  
 Date: 2 octobre 2014 19:44  
 À: luc.lavoie@usherbrooke.ca

---

ORACLE

Cher/Chère NULL !,

Vous avez demandé à recevoir par email le nom d'utilisateur de votre compte Oracle.

Votre nom d'utilisateur est : **luc.lavoie@usherbrooke.ca**

Merci !

L'équipe de gestion des comptes Oracle

Mettez votre compte à jour :

- > [Abonnez-vous aux communications](#) dédiées aux thèmes qui vous intéressent.
- > [Devenez membre des communautés Oracle.](#)
- > [Pour modifier votre adresse email, votre mot de passe](#) ou toute autre information de votre compte, cliquez sur le lien [Compte](#) en haut des pages Oracle.com.


Obtenir de l'aide

- > Des questions ? [Aide \(page Account Help\)](#)
- > Se connecter
  - [Envoyer une demande d'aide](#)
  - [profilehelp\\_ww@oracle.com](mailto:profilehelp_ww@oracle.com)

**Hardware and Software**

ORACLE

**Engineered to Work Together**



Copyright © 2014, Oracle et/ou ses filiales. Tous droits réservés. [Aide \(page Account Help\)](#) | [Ne pas envoyer d'email](#) | [Mentions légales](#) | [Conditions d'utilisation](#) | [Confidentialité](#)

2025-02-18

MCED, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MPTIS - CC BY-NC-SA 4.0

Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

40



**Quelle approche choisir ?****En pratique, que faire ?**

- Utiliser le langage SQL, mais de façon disciplinée et seulement après avoir fait un maximum au niveau de la modélisation.
  - Décomposer en fonction des besoins.
  - Systématiser NOT NULL pour tous les attributs.
  - Pallier l'indisponibilité des opérateurs  
MATCHING (⋈) et NOT MATCHING (⋈<sup>+</sup>)  
en utilisant les jointures externes en prenant soin toutefois de ne pas faire percoler les NULL au-delà du SELECT (donc en utilisant la fonction COALESCE dès que possible).

**Que choisir ?****Les constats**

1. Donnée manquante ::=  
    donnée (attribut) non applicable  
    | donnée (valeur) inconnue
2. La différence entre « non applicable » et « inconnue » est irréconciliable.
3. L'interprétation d'une « valeur inconnue » est dépendante de plusieurs facteurs dont
  - la cause du manque et
  - le prédicat associé au résultat.

**Que choisir ?****Les règles**

1. La non-applicabilité doit se refléter dans le modèle **la valeur non applicable doit disparaître** du modèle.
2. Les prédicats complets (sans valeur inconnue) doivent être séparés des prédicats incomplets **par décomposition PJ**.
3. Aucune valeur ne peut être substituée par le modèle lui-même (**pas de valeur « par défaut »**).
4. Il est nécessaire que la requête détermine explicitement l'**interprétation devant être donnée au manque**.
5. Si cette interprétation n'est pas unique, la cause du manque doit être conservée **par décomposition RU**.

## De la théorie aux modèles

- Pourquoi?
- Modèle de Codd I
- Modèle de Codd II
- Modèle de Date
- Modèle d'Ullman
- Modèles SQL
- Au final...

## De la théorie aux modèles

### Pourquoi n'y a-t-il pas un seul modèle?

- Parce qu'il n'y a pas consensus sur la bonne façon de traiter les données manquantes.
- Parce que certains sont prêts à sacrifier l'intégrité de leurs données et des résultats de leurs requêtes au profit des gains de performance (généralement éphémères et illusoires).
- Pour permettre d'intégrer de nouveaux résultats théoriques facilitant la modélisation et l'exploitation de données.

*Il faut cependant être très prudent avant d'introduire un nouveau modèle, car **tout mauvais modèle dès lors qu'il est utilisé acquiert une latence ÉNORME.***

## De la théorie aux modèles

### Modèle de Codd I

- Transposition directe de la théorie avec les exceptions suivantes
  - marqueur «nul»
  - logique **trivaluée**
  - pas d'attributs de type relation

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## De la théorie aux modèles

### Modèle de Codd II

#### ○ Transposition directe de la théorie avec les choix suivants

- extension de tous les types avec «non applicable» et «nul»
  - corolairement, une logique **quadrivaluée** (Belnap)
- pas d'attributs de type relation

2025-02-18

MCID\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

## De la théorie aux modèles

### Modèle de Date

#### ○ Transposition directe de la théorie, conséquemment

- pas de marqueur nul ni de valeur nulle
- logique **bivaluée**
- intégration des relations dans le système de typage  
(donc ajout des opérateurs *tclose*, *wrap* et *unwrap*)



## De la théorie aux modèles

### Modèle d'Ullman

- Transposition de la théorie relationnelle à l'aide de **collections**
  - marqueur «nul»
  - logique **trivaluée**
  - possibilité de doublons dans les relations
  - non équivalence entre relation et prédicat

## De la théorie aux modèles

### Modèle SQL ISO

#### ○ Transposition de la théorie relationnelle à l'aide de **collections et de listes**

- marqueur «nul»
- logique **trivaluée**
- possibilité de doublons dans les relations
- les attributs d'un tuple sont ordonnés et peuvent être anonymes, voire synonymes (!!!)
- possibilité d'attributs non typés
- non équivalence entre relation et prédicat, tuple et proposition.

**Au final**

- Nous maintenons la position adoptée en TRM\_01 :
  - Pour l'exposé des principes relationnels, nous utiliserons toujours le modèle de Date.
  - Pour la programmation SQL, nous présenterons des techniques permettant d'être aussi proche que possible du modèle de Date, en indiquant les écarts possibles en fonction du modèle SQL ISO 9075:2016.

### Les colles du prof

- Reclasser les 14 cas recensés par SPARC selon les catégories N, I et X.
- Faire le lien entre les catégories N, I, X et les trois solutions permettant de traiter les valeurs manquantes (corriger la source, modifier le modèle, introduire le concept d'annulabilité).
- Conclure en statuant sur la nécessité (ou non) du concept d'annulabilité.
- Quels sont les modèles relationnels utilisés en cours?

2025-02-18

MCID, TMR, 07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MITIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

53

IGE 487 :

- \* Montrer qu'il est possible de traiter les données manquantes sans faire appel aux marqueurs.
- \* Montrer l'avantage d'un tel modèle en regard des représentations physiques suivantes :
  - verticale,
  - maillée (ou hybride),
  - en mémoire,
  - triple-store,
  - KV.
- \* Peut-on en conclure que les marqueurs n'ont été introduits que sous la contrainte de la représentation horizontale ?
- \* Peut-on considérer le marqueur comme une abréviation notationnelle en regard d'un modèle relationnel « pur »?

## Références (1)

- Une théorie [mathématique] est un ensemble d'affirmations dont certaines sont des axiomes et les autres des théorèmes démontrables à partir de ces axiomes au moyen de règles d'inférence [exprimée à l'aide de la] logique.
  - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Théorie>
- Un modèle est une représentation conforme à une théorie.
  - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle>
- Un langage (formel) est un formalisme permettant de décrire des propositions sémantiquement interprétables en termes d'un modèle.
  - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Langage\\_formel](http://fr.wikipedia.org/wiki/Langage_formel)
- Une théorie peut être à l'origine de plusieurs modèles, un modèle de plusieurs langages, un langage de plusieurs dialectes.
- Pour en savoir plus sur le calcul des prédicats :
  - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Calcul\\_des\\_prédicats](http://fr.wikipedia.org/wiki/Calcul_des_prédicats)

## Références (2)

- Théorie relationnelle
  - E.F. Codd. 1990.  
*The Relational Model for Database Management: Version 2.*  
Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
  - C.J. Date, H. Darwen. 2007.  
*Databases, types and the relational model: the third manifesto.*  
Reading, Mass.: Addison-Wesley.
  - F. de Sainte Marie. 2013.  
*Bases de données relationnelles et normalisation : de la première à la sixième forme normale.*  
<ftp://ftp-developpez.com/fsmrel/basesrelationnelles/normalisation/normalisation.pdf>
  - H. Darwen. 2006.  
*How To Handle Missing Information Without Using NULL.*  
<http://www.dcs.warwick.ac.uk/~hugh/TTM/Missing-info-without-nulls.pdf>
- Manuels classiques
  - [C. J. Date 2004], chapitre 3.
  - [Elmasri and Navathe 2004], chapitre 4.
  - [Elmasri and Navathe 2011], chapitre 3.
  - [Elmasri and Navathe 2016], chapitre 8.
  - [Ullman and Widom 2008], chapitre 3.

## Références (3)

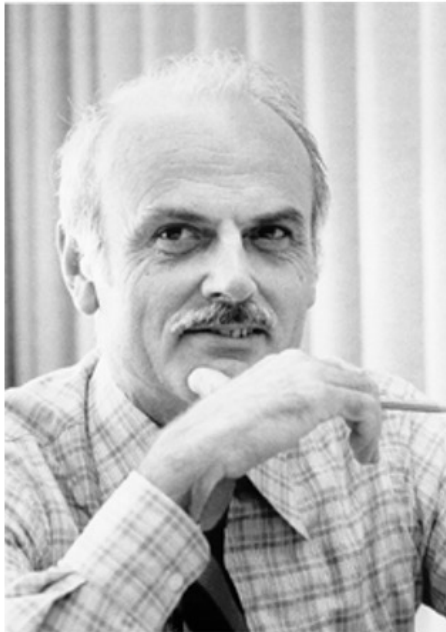
### ○ Théorie des Types

- Luca Cardelli, Peter Wegner (1985)  
*On understanding types, data abstraction, and polymorphism.*  
ACM Computing Surveys 17, 4; pp. 471–523.  
DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/6041.6042>
- Chris J. Date (2016)  
*Type inheritance and relational theory: subtypes, supertypes, and substitutability.*  
O'Reilly Media, Sebastopol, CA.  
ISBN:978-1-4919-5999-2

### Autres sources

- Une synthèse des conséquences du NULL en SQL
  - [https://en.wikipedia.org/wiki/Null\\_\(SQL\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Null_(SQL))
- Codd et Date débattent du sujet
  - <http://web.archive.org/web/20100531071357/http://www.dbdebunk.com/page/page/1706814.htm>



**Edgar Frank Codd**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Edgar\\_F.\\_Codd](https://en.wikipedia.org/wiki/Edgar_F._Codd)

**Christopher J. Date**

Photo of Chris Date by Douglas Robertson, Edinburgh  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Christopher\\_J.\\_Date](https://en.wikipedia.org/wiki/Christopher_J._Date)

2025-02-18

MCED\_TMR\_07 - Données manquantes (v242a) © 2018-2025, MPTIS - CC BY-NC-SA 4.0  
Département d'informatique, Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec

58

