

III) Le Modèle Relationnel

- 1) Contexte
- 2) Exemple
- 3) Définitions et notations
- 4) Représentation graphique
- 5) Clé d'une relation
- 6) Intégrité référentielle
- 7) Formes normales et dépendances fonctionnelles
- 8) Règles de passage

BUT 2022/2023

C4

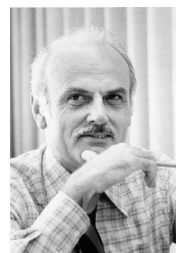
R1.05

Modélisation de bases de données

1/60

III.1) Contexte

- 1970, Codd, directeur de recherche au centre IBM de San José
- Ensemble d'opérations formelles sur les relations
 - Concept de formes normales
 - Basé sur une algèbre



BUT 2022/2023

C4

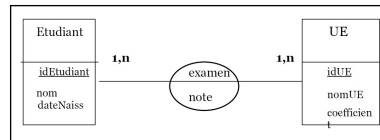
R1.05

Modélisation de bases de données

2/60

III.2) Exemple

Modèle Conceptuel :
Schéma Entité/Association



Règles de passage



Modèle Logique :
schéma relationnel

Etudiant (idEtudiant, nom, dateNaiss)
Examen (#idEtudiant, #idUE, note)
UE (idUE, nomUE, coefficient)

III.3) Définitions et notations

BD : Une base de données est un ensemble de *relations*.

on note

$BD = \{Relations\}$

Relation : Une relation est caractérisée par :

- son schéma de relation SR
- son extension de relation ER

on note

$Relation = \{SR, ER\}$

III.3) Définitions et notations

Le **schéma SR de la relation R** se note $R[A_1;A_2;\dots;A_n]$ où :

- R est le nom de la relation
- A_i représente un attribut

Le **degré** de la relation est le nombre d'attributs n

$DOM(A_i)$: est le domaine de valeurs de l'attribut A_i . C'est l'ensemble de ses valeurs plausibles.

- peut être spécifié sous forme d'une liste de valeurs, d'un intervalle, d'un format.

Plus les domaines sont définis de façon précise, moins il y aura d'erreurs dans les valeurs d'attributs et donc moins d'incohérence dans la BD.

Exemple : ETUDIANT [IDETUDIANT, NOM, DATENAISS]

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

8/60

III.3) Définitions et notations

L'extension ER de la relation est un ensemble de tuples.

$ER = \{\text{tuples ou n-uplets}\} = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n\}$

- $t_i = \{ \langle v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in} \rangle \}$ avec $t_i[A_j] = v_{ij}$
- v_{ij} est la valeur de l'attribut A_j dans le tuple t_i
- v_{ij} est atomique (pas de liste de valeurs)
- Valeurs possibles : un élément de $DOM(A_i)$ ou valeur *nulle*

Que signifie la valeur *nulle*?

- Valeur non-applicable à l'attribut de ce tuple (exemple: date de mariage pour une personne célibataire)
- Valeur possible mais inconnue (exemple: âge d'un étudiant)

Cardinalité d'une relation: nombre de tuples de la relation

Exemple : ETUDIANT { { 2 78 01 465, DURANT, 2/06/1985 }
 { 1 25 67 158, DUPOND, 13/08/1984 }
 ...
 }

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

11/60

III.4) Représentation graphique

On représentera une relation sous forme d'une **table** dans laquelle :

- Relation \leftrightarrow table
- Attribut \leftrightarrow colonne
- Tuple \leftrightarrow ligne

Exemple :

ETUDIANT	IDETUDIANT	NOM	DATENAIS
	2 78 01 465	DURANT	2/06/1985
	1 25 67 158	DUPOND	13/08/1984

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

12/60

III.5) Clé d'une relation

- Intuitivement le concept de clé correspond à la façon d'identifier de manière **unique** un tuple dans une table.
- Une relation peut posséder plusieurs clés possibles pour identifier les tuples de manière uniques. On les appelle des **clés candidates**. Ces clés candidates peuvent être composées *d'un seul attribut* ou *d'un groupe d'attributs*.
- On garde généralement le plus court comme identifiant, c'est ce que l'on appelle la **clé primaire** de la relation.
- Lors de la définition d'une relation, la clé primaire est soulignée.

BUT 2022/2023

C4

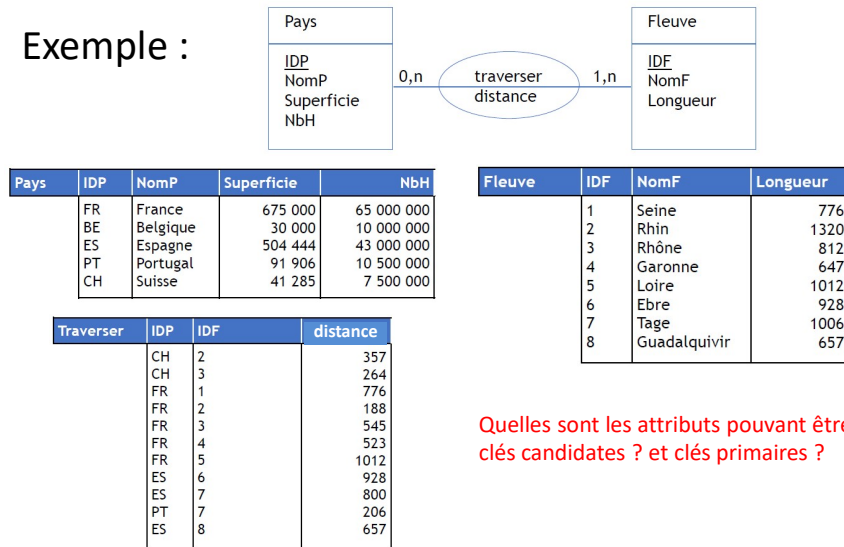
R1.05

Modélisation de bases de données

16/60

III.5) Clé d'une relation

Exemple :



Quelles sont les attributs pouvant être clés candidates ? et clés primaires ?

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

17/60

III.6) Intégrité référentielle

Il existe une contrainte importante au sein des bases de données relationnelles, celle de l'**intégrité référentielle** (ou contrainte d'inclusion):

- si un tuple t1 se réfère à un autre tuple t2, t2 doit toujours exister
- la référence se fait par le biais de clés étrangères.

Clé étrangère : une clé étrangère FK est définie ainsi :

- FK a le même domaine de valeurs qu'une clé primaire K
- toute valeur de FK dans un tuple t1 doit correspondre à une valeur de K dans un tuple t2 ou doit être nulle : $t1[FK]=t2[K]$ ou $t1[FK]=null$.

Les clés étrangères sont les seules redondances autorisées dans le schéma relationnel.

Une clé étrangère doit être mise en évidence dans la liste des attributs qui caractérisent la relation. Par convention, on fera précéder les clés étrangères du signe #.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

20/60

III.6) Intégrité référentielle

Exemple : considérons les deux relations suivantes et leurs ER :

ELEVE[CODE, NOM, CODEI] et INSTITUTEUR [CODEI, NOMI, NIVEAU]

ELEVE	<u>CODE</u>	NOM	CODEI	INSTITUTEUR	<u>CODEI</u>	NOMI	NIVEAU
e1	Benoit	I1		I1	Bazin	CP	
e2	Dupont	I1		I2	Maubert	CE1	
e3	Martin	I2		I3	Dervieux	CE2	
e4	Pinet	I3		I4	Bernard	CM1	
e5	Murol	I2					

L'attribut CODEI de la relation ELEVE est une clé étrangère :

- à toute valeur de CODEI dans la table ELEVE doit correspondre une valeur de CODEI dans la table INSTITUTEUR.
 - Il est par exemple impossible d'insérer le tuple <e6, Bardeau, I5 > dans la table ELEVE.
 - L'inverse n'est pas forcément vrai, c'est-à-dire que pour une valeur de CODEI dans la table INSTITUTEUR ne correspond pas forcément de valeur de CODEI dans la table ELEVE (comme I4 dans notre exemple).
 - Par contre, à une valeur de CODEI dans la table INSTITUTEUR peut correspondre plusieurs valeurs de CODEI dans la table ELEVE (I1 dans notre exemple)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

24/60

III.6) Intégrité référentielle

Exemple : considérons les deux relations suivantes et leurs ER :

ELEVE[CODE, NOM, CODEI] et INSTITUTEUR [CODEI, NOMI, NIVEAU]

ELEVE	<u>CODE</u>	NOM	CODEI	INSTITUTEUR	<u>CODEI</u>	NOMI	NIVEAU
e1	Benoit	I1		I1	Bazin	CP	
e2	Dupont	I1		I2	Maubert	CE1	
e3	Martin	I2		I3	Dervieux	CE2	
e4	Pinet	I3		I4	Bernard	CM1	
e5	Murol	I2					

L'attribut CODEI de la relation ELEVE est une clé étrangère :

- à toute valeur de CODEI dans la table ELEVE doit correspondre une valeur de CODEI dans la table INSTITUTEUR.
- le domaine de valeur de CODEI dans la table ELEVE est le même que celui de CODEI dans la table INSTITUTEUR.

On notera de la façon suivante les deux relations (la clé étrangère est précédée du signe #) :

ELEVE(CODE, NOM, #CODEI) et INSTITUTEUR [CODEI, NOMI, NIVEAU]

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

26/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

La caractéristique fondamentale du modèle relationnel concerne la manipulation de données normalisées.

La normalisation :

- assure la robustesse de la conception d'un modèle
- facilite la mémorisation des données.

On évite ainsi :

- la redondance
- les problèmes de mise à jour
- Les problèmes de cohérence.

Il faut que toutes les relations soient au moins en 3ème forme normale (3FN) pour que le schéma relationnel soit considéré comme correct.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

30/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

1FN : Première forme normale

Une relation est dite normalisée 1FN lorsque :

A l'intersection d'une ligne j et d'une colonne k, il ne peut y avoir qu'une seule valeur pour $t_j[A_k]$

Exemple de relation Non 1FN :

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH	Fleuves
	FR	France	675 000	65 000 000	Seine Rhin Rhône Garonne
	BE	Belgique	30 000	10 000 000	-
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Ebre Tage Guadalquivir
	PT	Portugal	91 906	10 500 000	Tage
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhin Rhône

Valeurs non atomiques/unitaires

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

31/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Exemple de relation normalisée en 1FN :

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH	Fleuves
	FR	France	675 000	65 000 000	Seine
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhin
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhône
	FR	France	675 000	65 000 000	Garonne
	BE	Belgique	30 000	10 000 000	-
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Ebre
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Tage
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Guadalquivir
	PT	Portugal	91 906	10 500 000	Tage
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhin
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhône

Introduction de redondance de la clé primaire IDP...

Il faudra choisir comme clé primaire le couple IDP, Fleuves

Ne correspond pas à une implantation réaliste dans une BD

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

32/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Il existe d'autres formes normales :

2FN, 3FN, 3FN de Boyce-Codd (BCNF), 4FN et 5FN

Pour aborder les ces FN, il faut le concept de dépendance fonctionnelle.

Nous n'aborderons dans ce cours que 2FN et 3FN

Dépendance fonctionnelle (DF) :

Soit une Relation R possédant au moins les attributs A et B.

On dit que l'attribut B dépend fonctionnellement de l'attribut A (que l'on note $A \rightarrow B$, c'est à dire A donne B) si et seulement si pour tout j avec $t_j[A] = a$, on a toujours $t_j[B] = b$.

Autrement dit, à une valeur $\langle a \rangle$ de A dans R correspond toujours la même valeur $\langle b \rangle$ de B.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

34/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Exemple : dans cette relation 1FN :

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH	Fleuves
	FR	France	675 000	65 000 000	Seine
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhin
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhône
	FR	France	675 000	65 000 000	Garonne
	BE	Belgique	30 000	10 000 000	-
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Ebre
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Tage
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Guadalquivir
	PT	Portugal	91 906	10 500 000	Tage
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhin
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhône

IDP → NomP, car chaque valeur de IDP ne correspond qu'à une seule valeur dans NomP.

IDP ↗ Fleuves, car pour la valeur FR de IDP, correspondent plusieurs valeurs de Fleuves (Seine, Rhin, etc)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

35/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

2FN : Deuxième forme normale :

Une relation est dite normalisée 2FN lorsque :

- Elle est 1FN
- Ses attributs non-clé sont en DF élémentaire avec la clé

Dépendance Fonctionnelle Élémentaire :

$X \rightarrow Y$ est une DF élémentaire si et seulement si Y ne dépend pas fonctionnellement de l'un des attributs composant X

Conséquence : tout relation dont la clé primaire est composée d'un unique attribut est donc nécessairement 2FN.

On ne vérifie 2FN uniquement pour les relations ayant une clé primaire composée d'au moins deux attributs.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

39/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Exemple : soit la relation 1FN de clé primaire IDP, Fleuves :

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH	Fleuves
	FR	France	675 000	65 000 000	Seine
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhin
	FR	France	675 000	65 000 000	Rhône
	FR	France	675 000	65 000 000	Garonne
	BE	Belgique	30 000	10 000 000	-
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Ebre
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Tage
	ES	Espagne	504 444	43 000 000	Guadalquivir
	PT	Portugal	91 906	10 500 000	Tage
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhin
	CH	Suisse	41 285	7 500 000	Rhône

Il faut vérifier que NomP, Superficie et NbH ne soient pas dépendants fonctionnellement ni de IDP, ni de Fleuves.

On a bien Fleuves \nrightarrow NomP, Fleuves \nrightarrow Superficie et Fleuves \nrightarrow NbH

Mais IDP \rightarrow NomP, IDP \rightarrow Superficie et IDP \rightarrow NbH.

Cette relation n'est donc pas 2FN.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

40/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Exemple (suite) :

Pour rendre le schéma 2FN, on décompose cette relation en deux relations 2FN Pays et Fleuves en tenant compte des dépendances fonctionnelles relevées précédemment.

Si on considère les cardinalités, on constate qu'il s'agit d'une association n-aire. La règle de passage n°4 nous amène donc à créer une 3eme relation qui correspond à l'association Traverser.

Traverser[#IDP, #IDF]

Pays[IDP, NomP, Superficie, NbH]

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH
	FR	France	675 000	65 000 000
	BE	Belgique	30 000	10 000 000
	ES	Espagne	504 444	43 000 000
	PT	Portugal	91 906	10 500 000
	CH	Suisse	41 285	7 500 000

Traverser	#IDF	#IDP
1		FR
2		FR
2		CH
3		FR
3		CH
4		FR
5		ES
6		ES
6		PT
7		ES

Fleuves[IDF, NomF]

Fleuves	IDF	NomF
1		Seine
2		Rhin
3		Rhône
4		Garonne
5		Ebre
6		Tage
7		Guadalquivir

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

41/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

3FN : Troisième forme normale :

Une relation est dite normalisée 3FN lorsque :

- Elle est 2FN
- Ses attributs non-clé sont en DF directe avec la clé, c'est-à-dire **qu'ils ne dépendent pas d'un attribut non-clé**.

Dépendance Fonctionnelle directe : (concept de non-transitivité)

$X \rightarrow Y$ est une DF directe si et seulement si il n'existe aucun attribut intermédiaire Z tel que $X \rightarrow Z$, $Z \rightarrow Y$, et dont X ne dépend pas ($Z \not\rightarrow X$)

Conséquence : tout relation dont n'ayant qu'un seul ou pas d'attribut non-clé est nécessairement 3FN.

On ne vérifie 3FN que pour les relations ayant au moins deux attributs non-clé.

Cette forme permet généralement d'éliminer les redondances dues à des attributs que l'on peut calculer ou déterminer l'un en fonction d'un autre.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

45/60

III.7) Formes normales et dépendances fonctionnelles

Exemple (suite) :

Dans le schéma 2FN précédent :

Pays	IDP	NomP	Superficie	NbH
FR		France	675 000	65 000 000
BE		Belgique	30 000	10 000 000
ES		Espagne	504 444	43 000 000
PT		Portugal	91 906	10 500 000
CH		Suisse	41 285	7 500 000

Traverser	#IDF	#IDP
1	FR	
2	FR	
2	CH	
3	FR	
3	CH	
4	FR	
5	ES	
6	ES	
6	PT	
7	ES	

Fleuves	IDF	NomF
1		Seine
2		Rhin
3		Rhône
4		Garonne
5		Ebre
6		Tage
7		Guadalquivir

Fleuves n'a qu'un attribut non clé. Cette relation est donc 3FN.

Traverser n'a pas d'attribut non clé. Cette relation est donc 3FN.

Pays a trois attributs non-clé : ils sont tous dépendant fonctionnellement directement de la clé IDP. Cette relation est donc aussi 3FN. Le schéma est donc 3FN

Si Pays avait eu l'attribut Densité, obtenu comme le calcul de NbH/Superficie, Pays ne serait alors pas 3FN.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

49/60

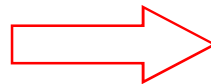
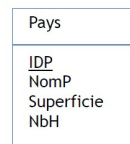
III.8) Règles de passage

Il y a 4 règles pour transformer un schéma Entité/Association en schéma relationnel. Elles sont utilisées pour transformer :

1. des classes d'entités
2. des classes d'associations binaires $(x,1)-(x,n)$ (mère-fille)
3. des classes d'associations binaires $(0,1)-(x,1)$
4. des classes d'associations binaires $(x,n)-(x,n)$, (et n-aires)

Règle n°1 : classes d'entités

Chaque classe d'entité devient une relation, ses propriétés deviennent des attributs de la relation, et l'identifiant de la classe devient plus particulièrement la clé primaire de la relation.



Pays (IDP, NomP, Superficie, NbH)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

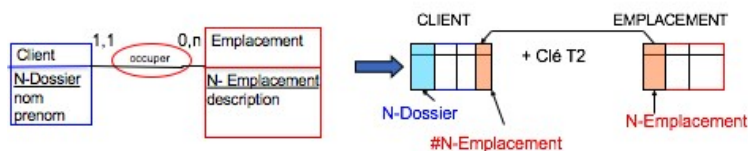
51/60

III.8) Règles de passage

Règle n°2 : classes d'associations binaires $(x,1)-(x,n)$ (mère-fille)

- La classe d'association *filie* $(x-n)$ disparaît, et la clé de la relation *mère* passe dans la relation *filie* en tant que clé étrangère.

Exemple :



Un dossier possède obligatoirement un emplacement unique
Un emplacement peut contenir plusieurs dossiers

On obtient les relations :

Client (N-dossier, nom, prenom, #N-emplacement)

Emplacement (N-Emplacement, description)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

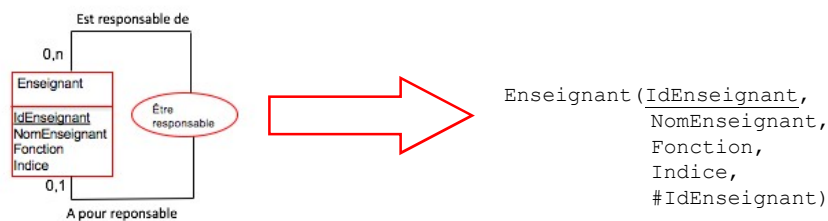
52/60

III.8) Règles de passage

Règle n°2 (suite) :

- Dans le cas d'associations $(x,1)-(x,n)$ réflexives, la classe mère et la classe fille sont confondues. Il n'y aura donc qu'une seule relation dont la clé étrangère référence la clé primaire.

Exemple :



BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

53/60

III.8) Règles de passage

Règle n°3 : classes d'associations binaires $(0,1)-(x,1)$

- Dans le cas d'une association binaire $(0,1)-(1,1)$, on ajoute à la table T1 de la classe d'entités qui se situe du côté où la cardinalité de A vaut $(1,1)$ une clé étrangère correspondant à l'identifiant de l'autre classe d'entités.

Exemple : Dans le cas de clients d'un grand magasin qui peuvent disposer d'une carte de fidélité



On obtient le schéma relationnel suivant:

Client (No_client, Nom, Prenom, Adresse, CP, Localité)

Carte (No_carte, #No_Client, Type_Abonnement, Date_Creation)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

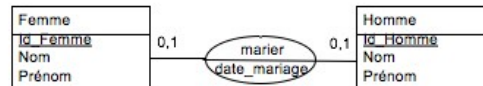
54/60

III.8) Règles de passage

Règle n°3 : classes d'associations binaires (0,1)-(x,1)

- Dans le cas d'une association binaire (0,1)-(0,1), on choisit l'identifiant d'une des deux classes d'entités qui devient clé étrangère dans l'autre classe d'entités.

Exemple :



Ce schéma E/A peut donner lieu à deux schémas relationnels différents:

Femme (Id_Femme, Nom, Prénom)
 Homme (Id_Homme, Nom, Prénom, #Id_Femme, date_mariage)

OU

Femme (Id_Femme, Nom, Prénom, #Id_Homme, date_mariage)
 Homme (Id_Homme, Nom, Prénom)

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

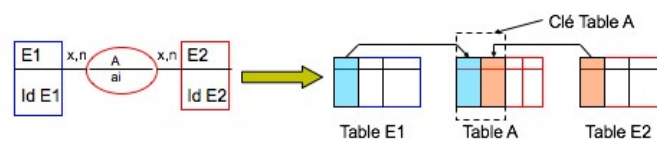
55/60

III.8) Règles de passage

Règle n°4 : classes d'associations binaires (x,n)-(x,n) (et n-aires)

Chaque classe d'association (x,n)-(x,n) devient une relation. Les attributs de cette relation sont :

- la concaténation des identifiants des classes d'entités liées qui forment la clé primaire
- les éventuelles propriétés qui étaient portées par la classe d'association.



La clé primaire de la classe d'association est ainsi composée des clés des relations associées.

BUT 2022/2023

C4

R1.05

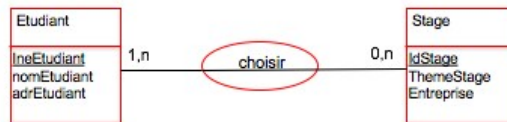
Modélisation de bases de données

56/60

III.8) Règles de passage

Exemple :

Règle 4 pour un schéma dans lequel l'association (1,n)-(0,n) ne possède pas d'attribut :



On obtient les relations suivantes:

```
Etudiant(IneEtudiant, NomEtudiant, AdrEtudiant)
Choisir(#IneEtudiant, #IdStage)
Stage(IdStage, ThemeStage, Entreprise)
```

BUT 2022/2023

C4

R1.05

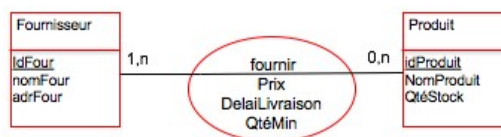
Modélisation de bases de données

57/60

III.8) Règles de passage

Exemple :

Règle 4 pour un schéma dans lequel l'association (1,n)-(0,n) qui possède des attributs :



On obtient les relations suivantes:

```
Fournisseur(IdFour, NomFour, AdrFour)
Fournir(#IdFour, #IdProduit, Prix, DelaiLivraison, QtéMin)
Produit(IdProduit, NomProduit, QtéStock)
```

BUT 2022/2023

C4

R1.05

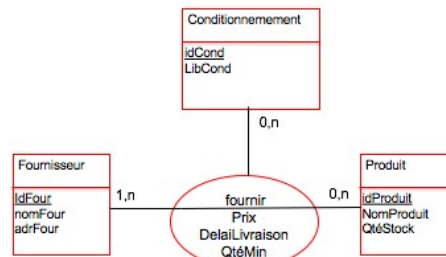
Modélisation de bases de données

58/60

III.8) Règles de passage

Exemple :

Règle 4 pour un schéma dans lequel l'association n-aire qui possède des attributs :



On obtient les relations suivantes:

```
Fournisseur(IdFour, NomFour, AdrFour)
Produit(IdProduit, NomProduit, QtéStock)
Conditionnement(IdCond, LibCond)
Fournir(#IdFour, #IdProduit, #IdCond, Prix, DelaiLivraison, QteMin)
```

BUT 2022/2023

C4

R1.05

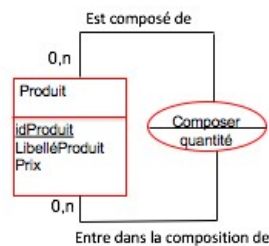
Modélisation de bases de données

59/60

III.8) Règles de passage

Exemple :

Règle 4 pour un schéma avec association n-n réflexive avec attributs :



On obtient les relations suivantes:

```
Produit(IdProduit, LibelleProduit, Prix)
Composer(#IdProduitComposé, #IdProduitComposant, Quantité)
```

BUT 2022/2023

C4

R1.05

Modélisation de bases de données

60/60