
Architecture des ordinateurs

Pipeline simple

Daniel Etiemble
de@lri.fr

L'exécution d'une instruction

- Les étapes fondamentales

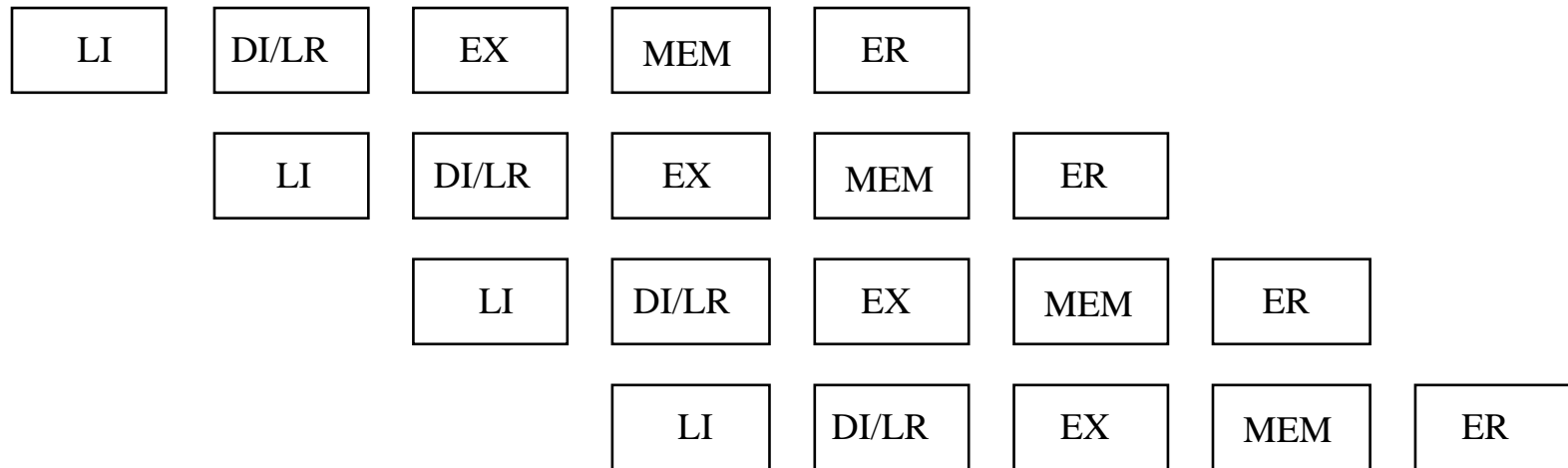
<i>Instructions UAL</i>	<i>Instructions Mémoire</i>	<i>Instructions Branchement</i>
Lecture instruction Incrémentation CP Décodage de l'instruction Lecture des opérandes Exécution Ecriture du résultat	Lecture instruction Incrémentation CP Décodage de l'instruction Calcul de l'adresse mémoire Accès mémoire Rangement du résultat	Lecture instruction Incrémentation CP Décodage de l'instruction Calcul de l'adresse de branchement Exécution

Exécution d'une instruction : les différentes étapes

- Instructions entières
LI/CP DI/LR EX ER
- Instructions flottantes
LI/CP DI/LR EX1 EX2 ... ER
- Instructions mémoire
LI/CP DI/LR CA AM ER
- Instructions de branchement
LI/CP DI/CAB/EX

Pipeline 1 instruction par cycle

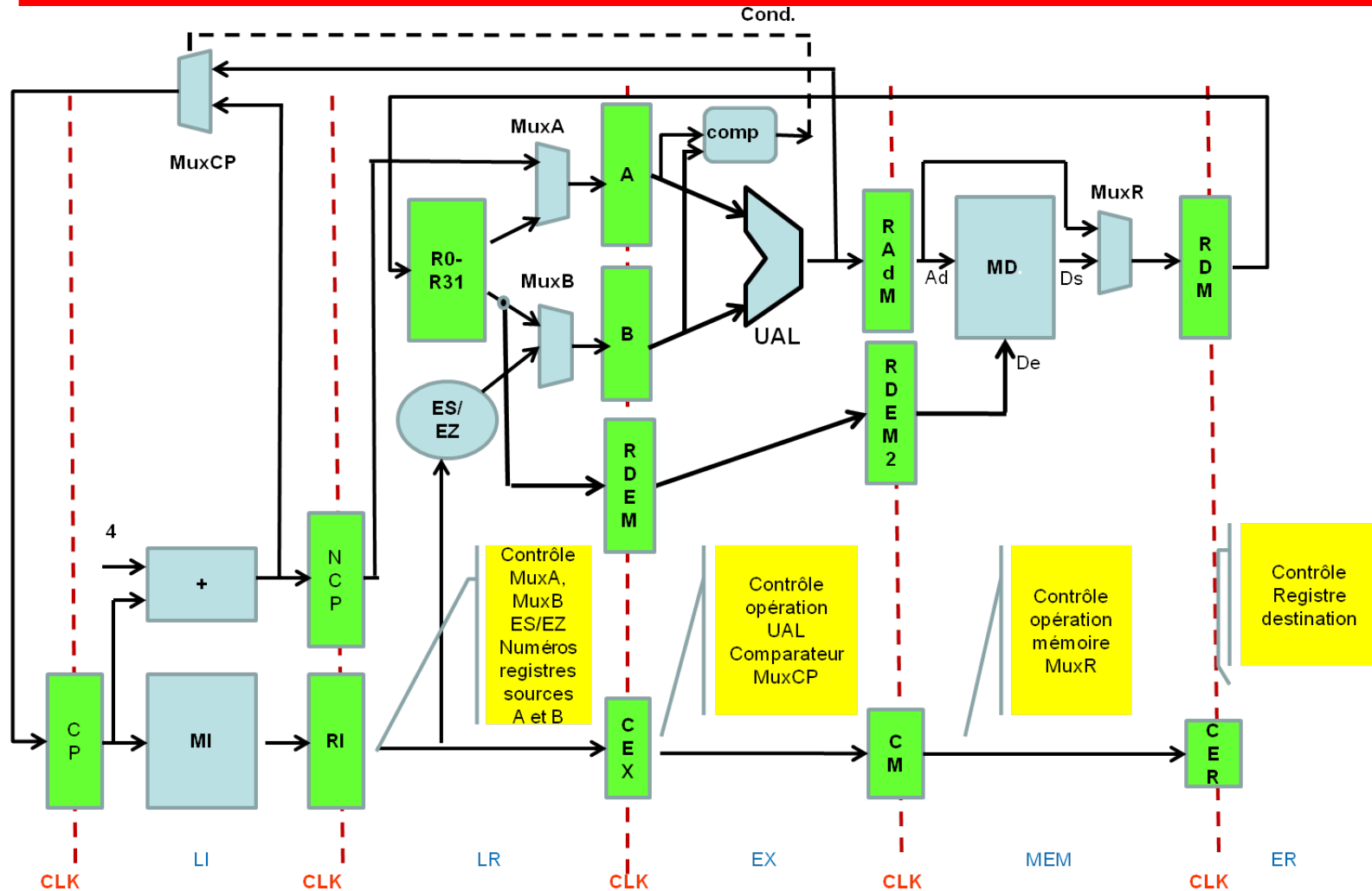
Pipeline R2000-R3000



Latence : 5 cycles

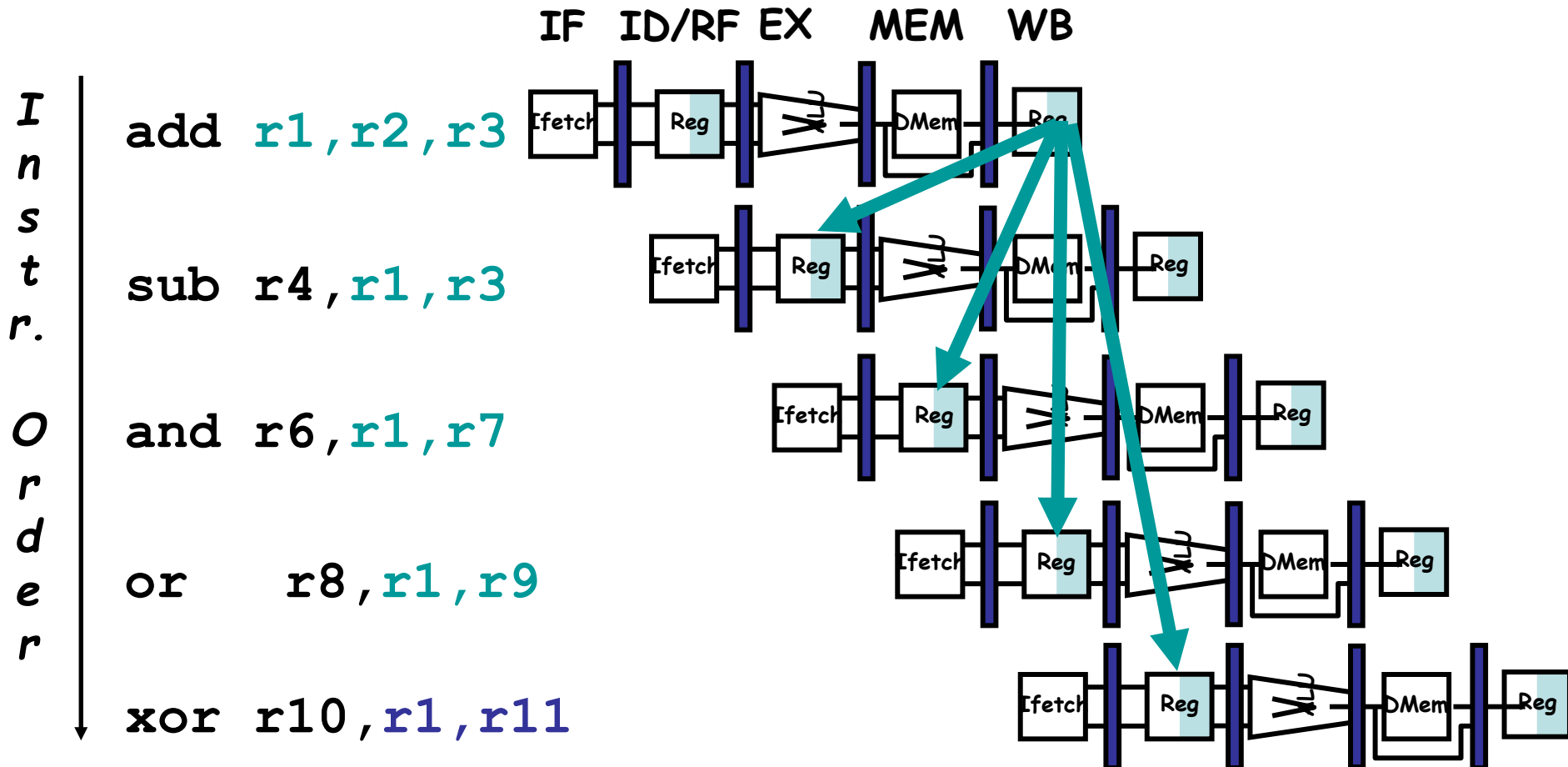
Débit : 1 instruction par cycle

Exécution scalaire MIPS (pipelinée)

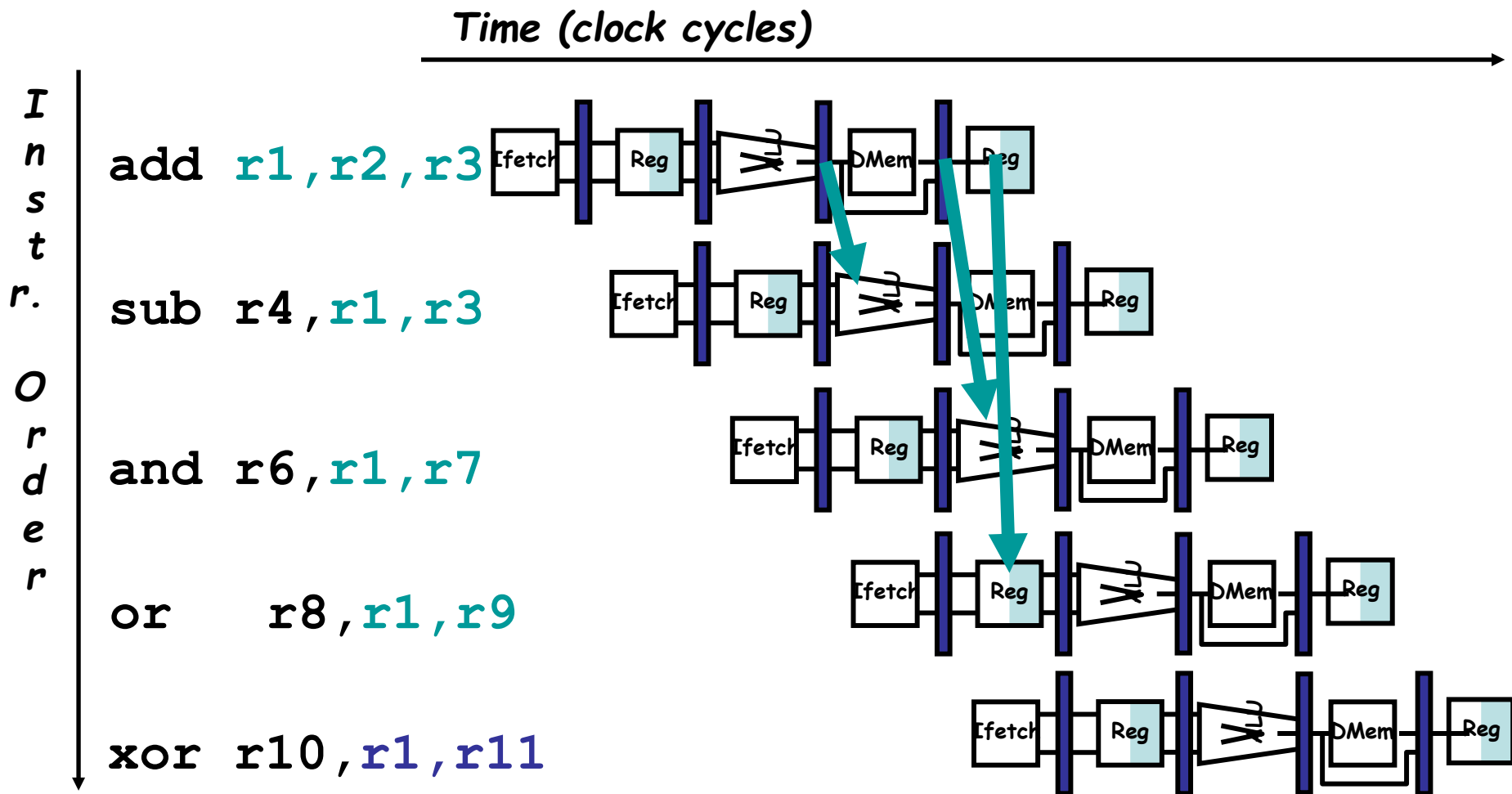


Aléas de données

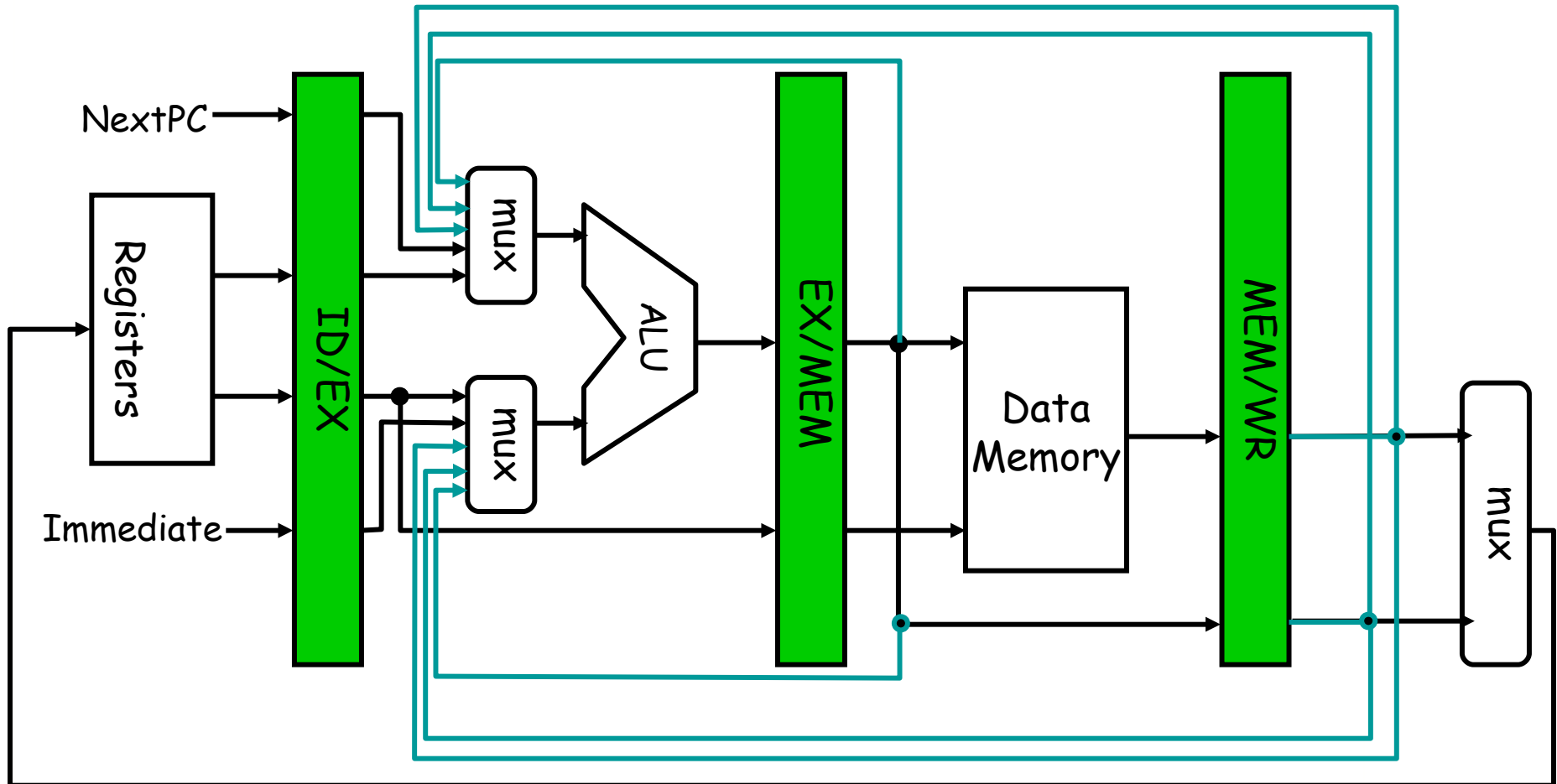
Time (clock cycles)



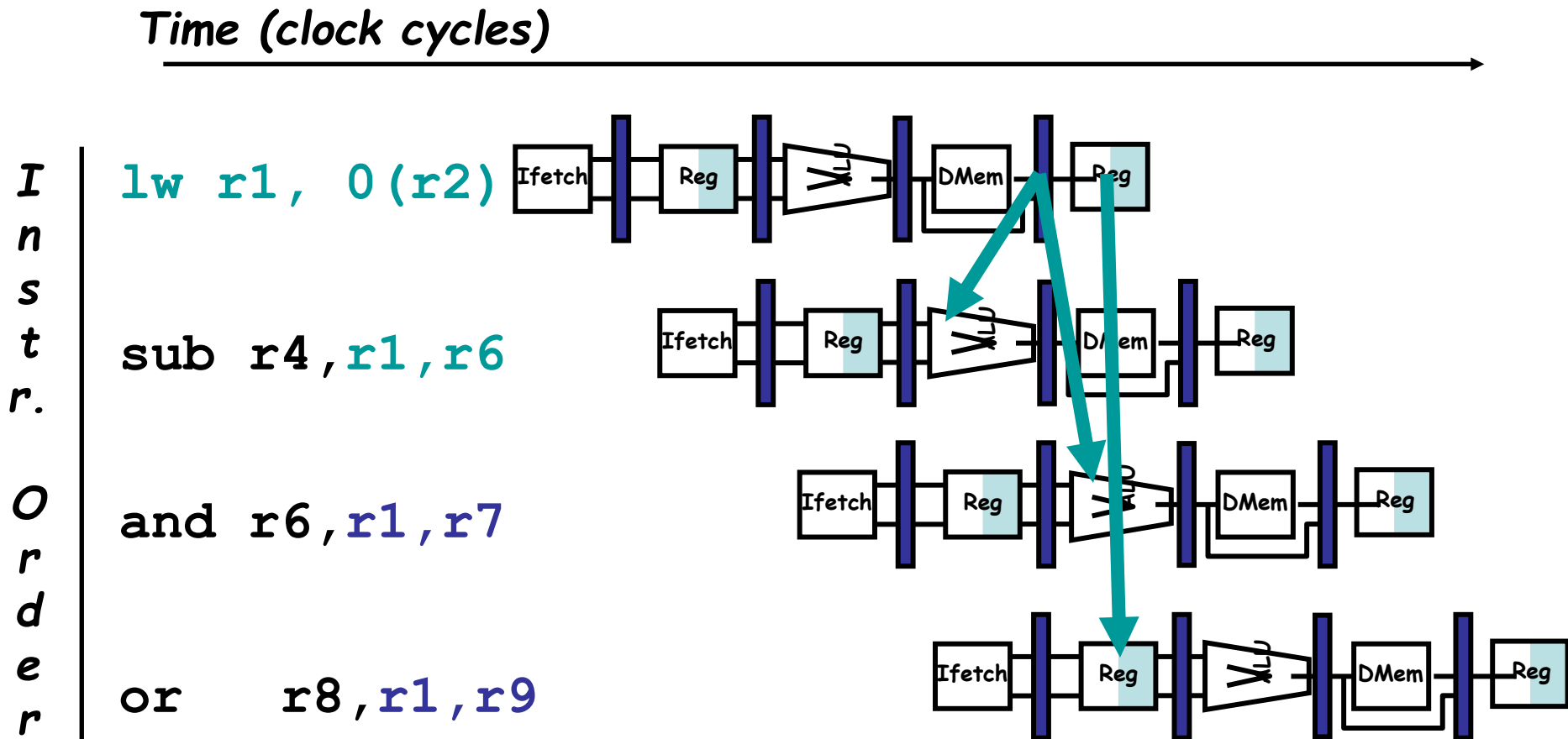
Envoi pour éviter les aléas



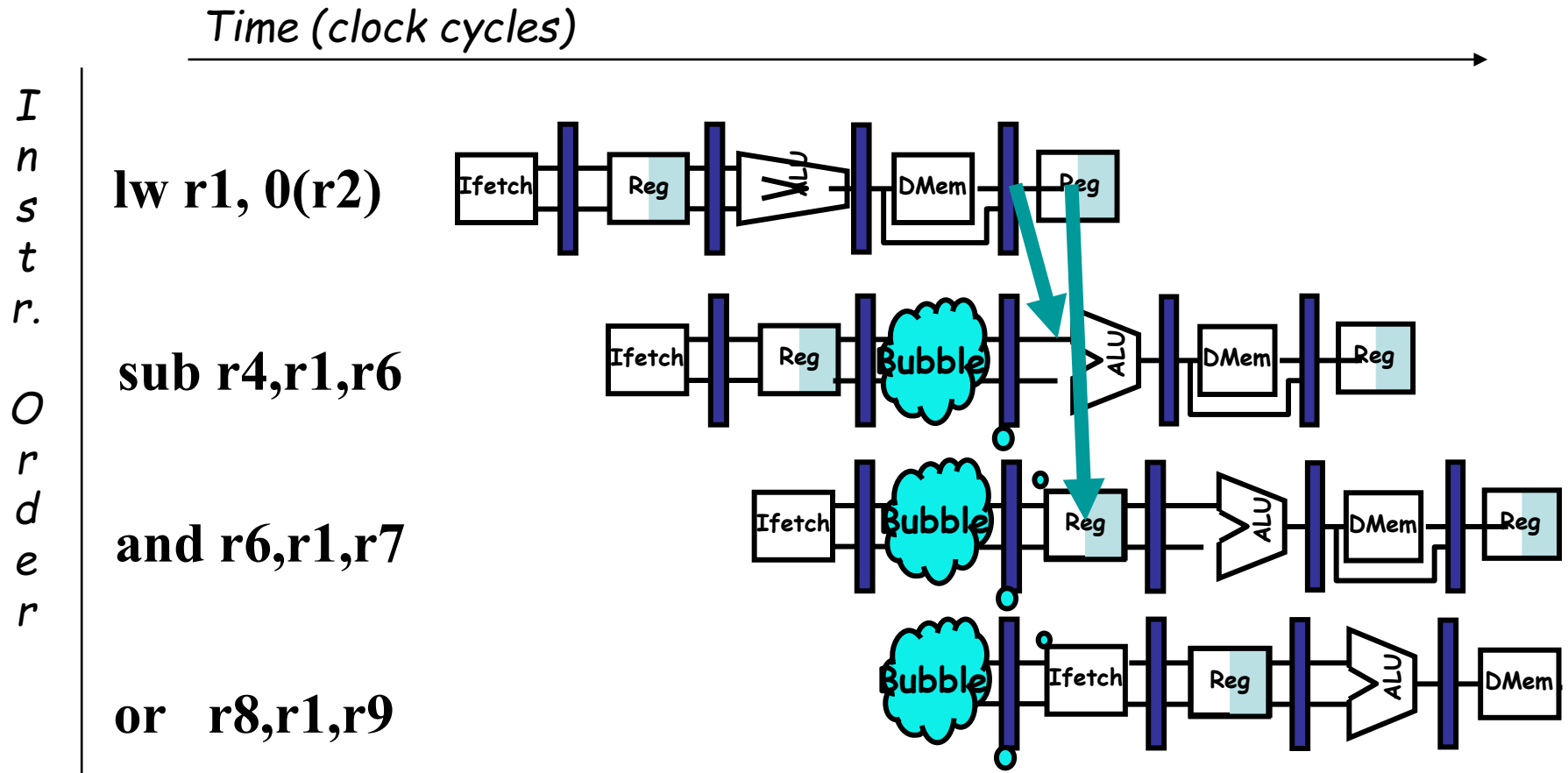
Matériel pour l'envoi



Aléas de données incontournables

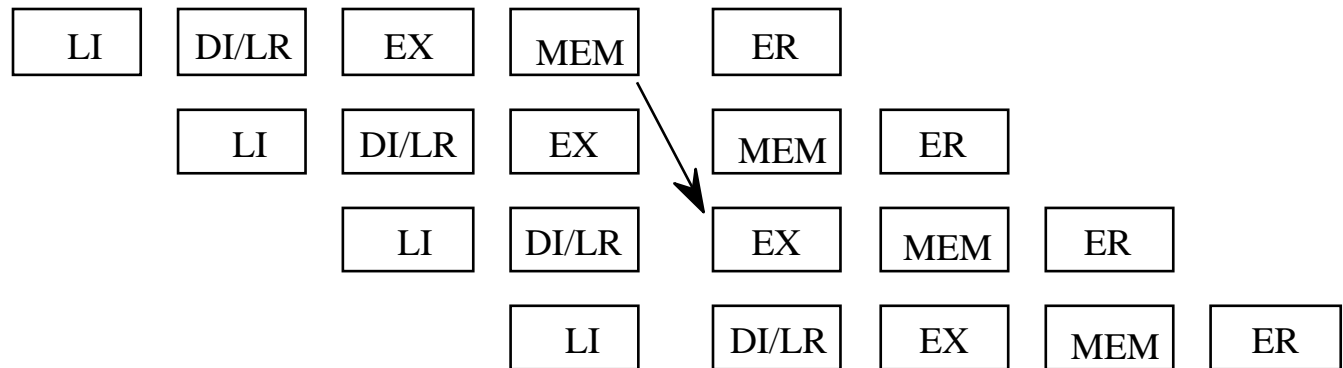


Aléas de données incontournables

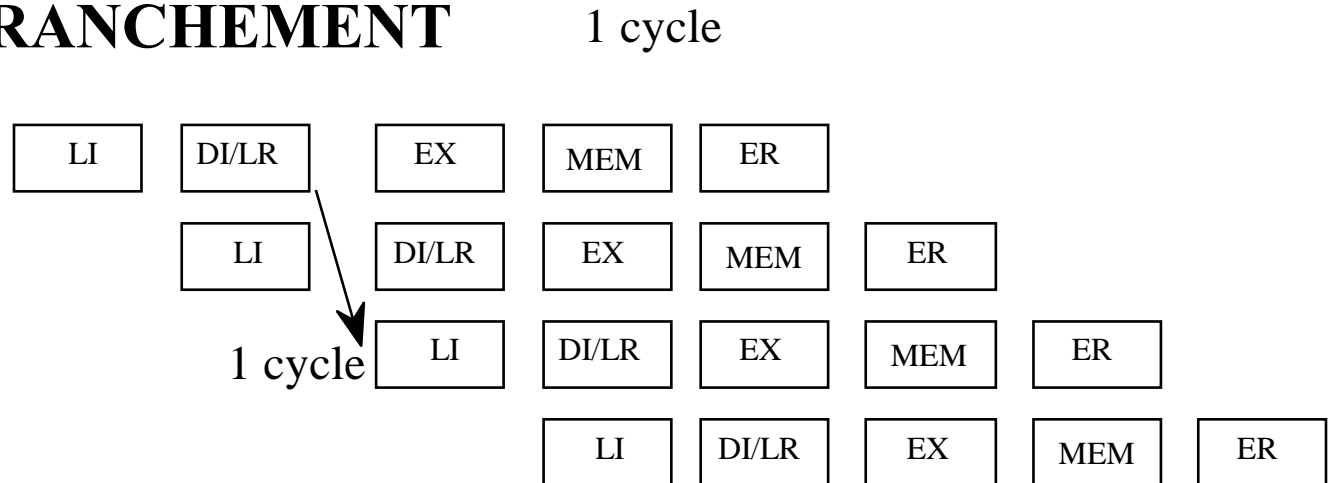


Les délais liés au pipeline

DELAI DE CHARGEMENT



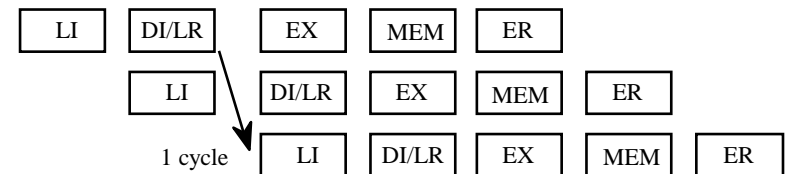
DELAI DE BRANCHEMENT



Le problème des branchements

- INSTRUCTIONS SAUT/BRANCHEMENT : possibilités
 - Annulation par matériel de l'instruction qui suit.
 - Toute instruction de contrôle prend 2 cycles.
 - Insérer une instruction NOP
 - Toute instruction de contrôle prend 2 cycles
 - Saut/branchement retardé d'un cycle
 - L'instruction après le branchement est exécutée avant que le branchement ou le saut soit effectué
 - Si le compilateur peut réordonnancer les instructions, saut et branchement en 1 cycle

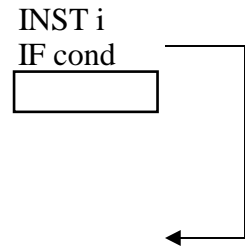
LD R1, (R4+8)	→	LD R1, (R4+8)
LD R2, (R5+8)		LD R2, (R5+8)
ADD R3,R1,R2		ADD R3,R1,R2
ST R3, (R6+8)		BR L1
BR L1		ST R3, (R6+8)
NOP		...
...	
....	
L1 :		L1 :
.....		



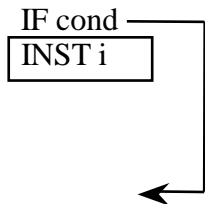
Les branchements conditionnels retardés

Schémas de réordonnancement

a) L'instruction avant le branchement
ne calcule pas la condition



a) Initial



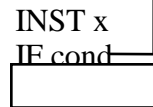
a) Final

b) Instruction cible

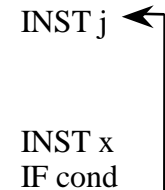
Branchement très probablement pris



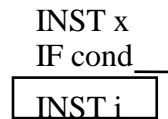
(Branchement de boucle)



b) Initial



Branchements avec annulation

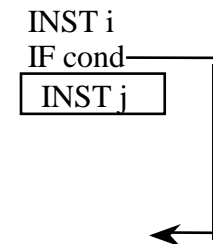


b) Final

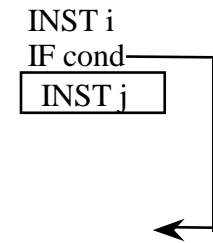
L'instruction suivante est exécutée
si le branchement est pris

L'instruction suivante est annulée
si le branchement n'est pas pris

c) Instruction après le branchement



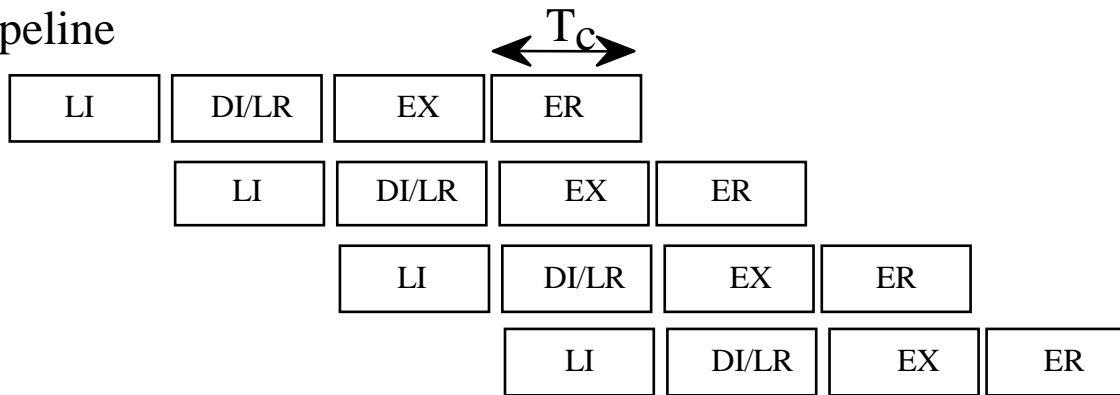
c) Initial



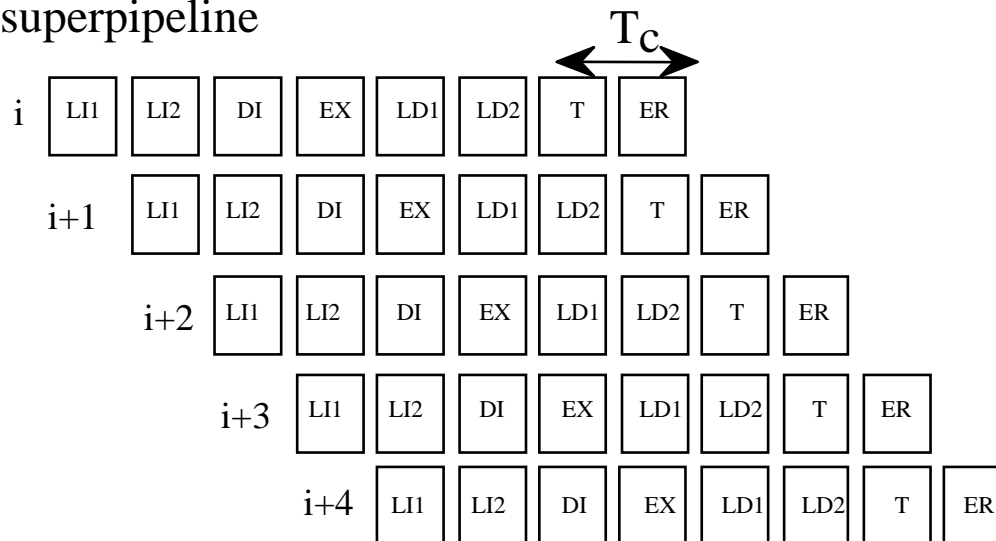
c) Final

Approche superpipeline

pipeline



superpipeline

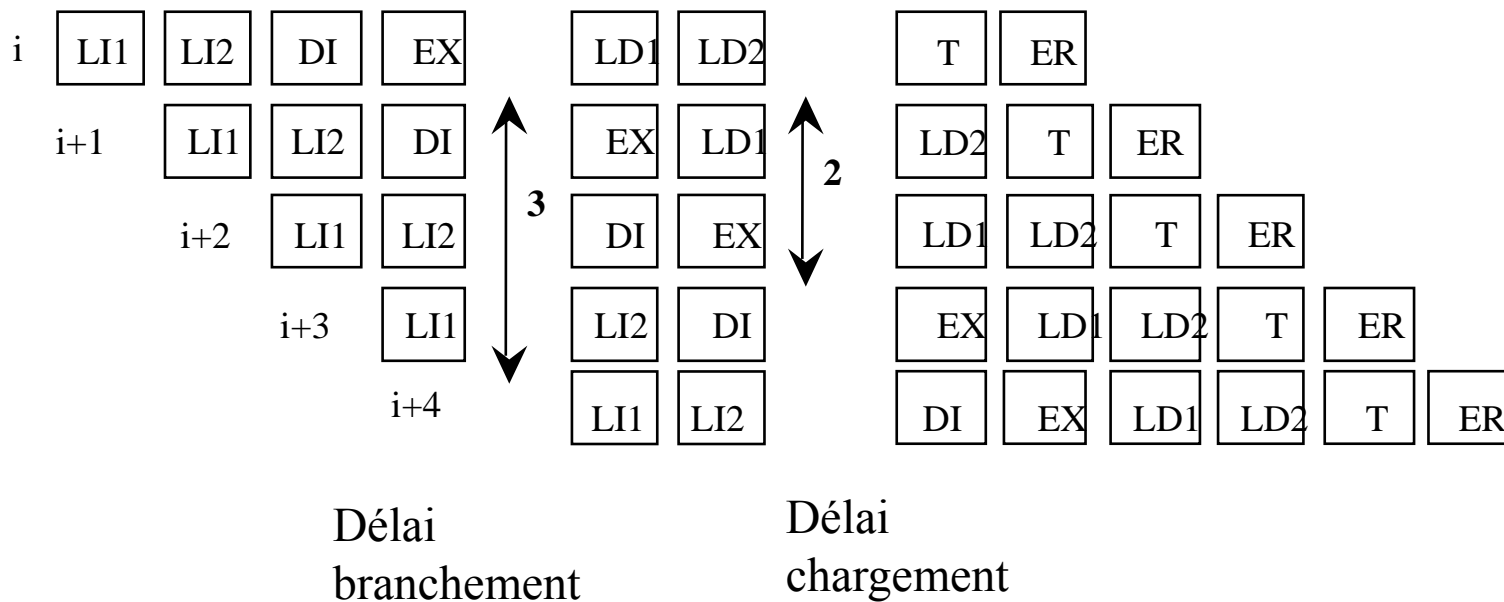


Les étages critiques
(accès cache) sont pipelinés

$$T_{cs} = T_c / 2$$

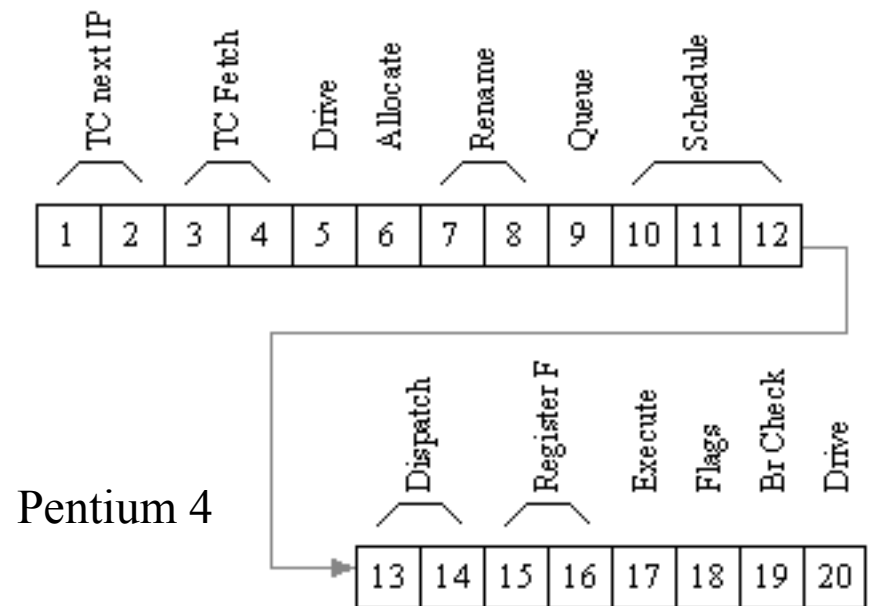
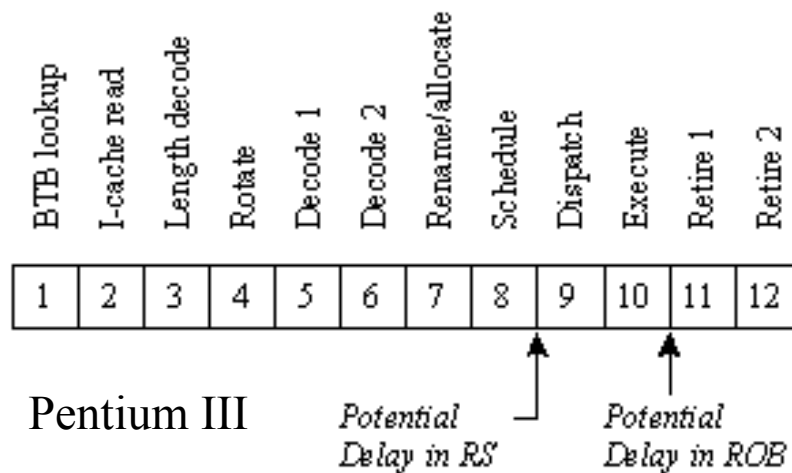
Superpipelines : chargements et branchements

Superpipeline MIPS R4000



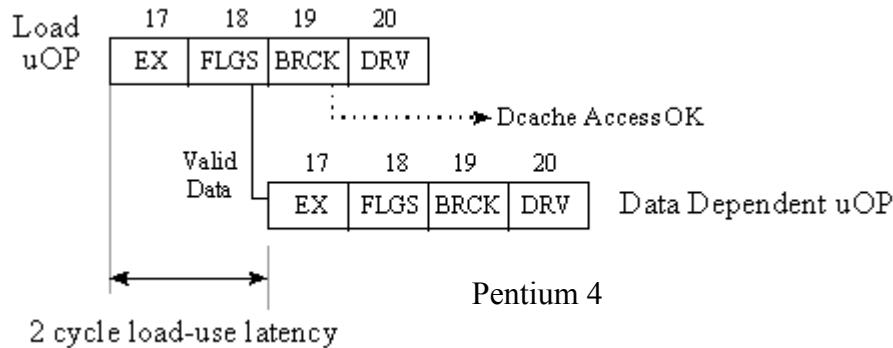
Pipelines Pentium III et Pentium 4

- Superpipeline : technique permettant d'utiliser des fréquences d'horloge élevée (2 à 3 GHz en 2003)



Latences chargement/branchement

Latence de chargement



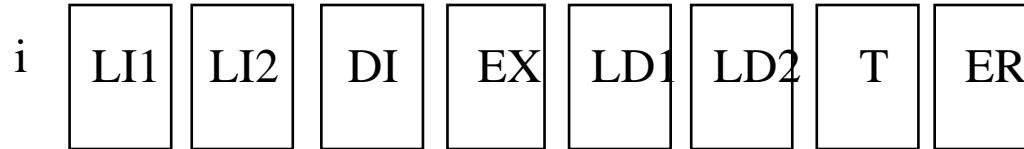
Pénalité de mauvaise prédiction

Basic Pentium® III Processor Misprediction Pipeline									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fetch	Fetch	Decode	Decode	Decode	Rename	ROB Rd	Rdy/Sch	Dispatch	Exec

Basic Pentium® 4 Processor Misprediction Pipeline																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Nxt IP	TC Fetch	Drive Alloc	Rename	Que	Sch	Sch	Sch	Sch	Disp	Disp	RF	RF	Ex	Flgs	Br Ck	Drive			

- Optimisation matérielle
 - Prédiction de branchement
- Optimisation programmeur/compilateur
 - Ordonnancement des instructions
 - Conversion SI
 - Utilisation des instructions de transfert conditionnel pour supprimer des branchements conditionnels

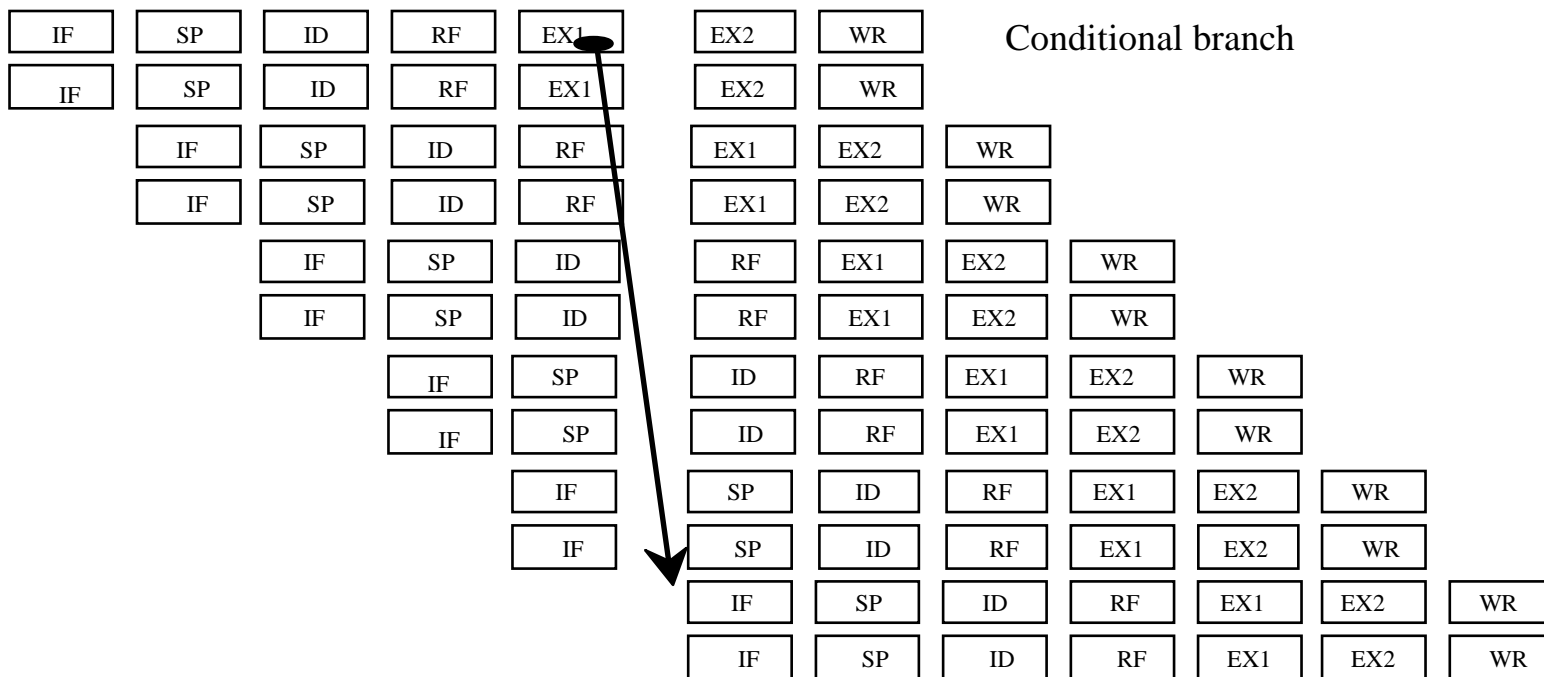
Caractéristiques des superpipelines



- **Avantages**
 - Simple extension du pipeline scalaire
- **Inconvénients**
 - fréquence d'horloge plus élevée
 - circuits d'anticipation (forwarding) plus complexes
 - Délais de branchement et chargement plus élevés,
- **Remarque**
 - La compatibilité binaire doit être préservée : Pb des branchements retardés (SPARC, MIPS)

Le problème des branchements

- Exemple du 21064



Comportement du branchement connu à la fin de EX1