Partie I : Le test.

2: Le test fonctionnel

1.2: Le test fonctionnel
1.2.1: Le test de conformité de systèmes réactifs

Types d'application

Typologie du test

Théorie du test de conformité

Test d'interopérabilité

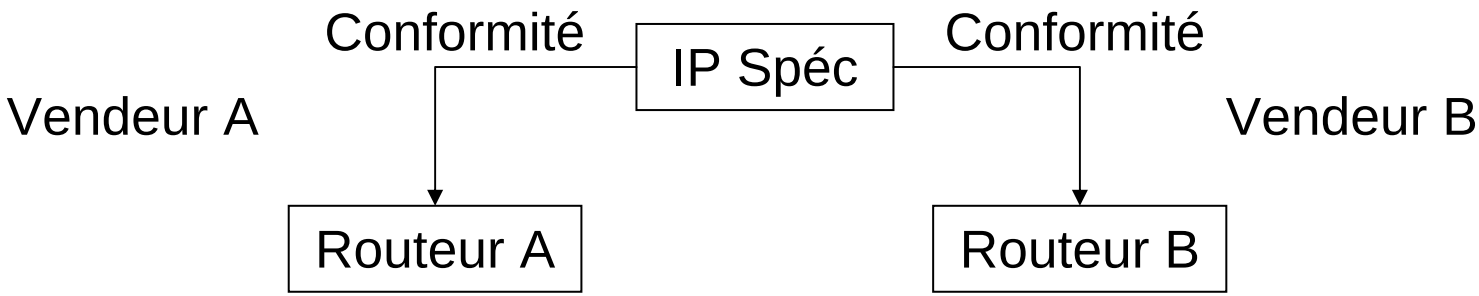
Types d'application

Application composée du plusieurs entités communicantes

- Système embarqué
- Système à base de composants
- Protocole
- Peut être temporisé
- …/…

Typologie du test

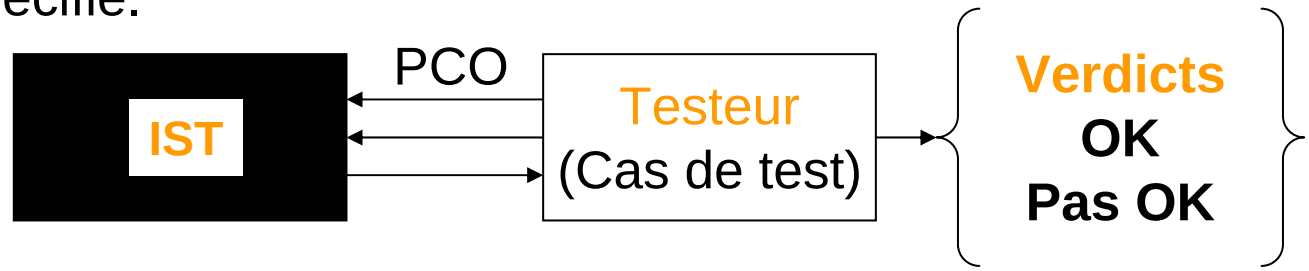
- **Test de Conformité**
  - Une seule entité est testée.
    Objectif : déterminer si une implémentation est conforme à sa spécification.
- **Test d'Interopérabilité**
  - Deux ou plusieurs entités sont testées.
    Objectif : déterminer si ces implémentations peuvent interagir ensemble comme prévu par la spécification.



Ces routeurs interagissent-ils correctement ?

Test de conformité

- But : être sûr qu'une implémentation fait ce que le standard spécifie.



IST (implémentation Sous Test) :

- Architecture boîte noire
- PCO (Points de contrôle et d'observation) : contrôle restreint et observation avec certaines interfaces

Testeur :

- Sortie : événements pour contrôler l'IST (cas de test),
- Entrée : observation de l'IST

Verdict :

- Résultat d'un cas de test (OK – Pas OK – Inconcluant)
- Un même cas de test peut conduire à différents verdicts

Test d'Interopérabilité

Test d'Interopérabilité:

- But final dans le développement d'un produit de systèmes communicants (exemple : routeur)
- Grand champ d'application : systèmes distribués (systèmes réactifs, systèmes embarqués, systèmes à base de composants, protocoles…)

Des implémentations peuvent être considérées conformes à leur spécification, mais peuvent ne pas interopérer.

Contrairement à la conformité, peu de travaux théoriques sur le test d'interopérabilité (définitions, méthodologies, algorithmes…)

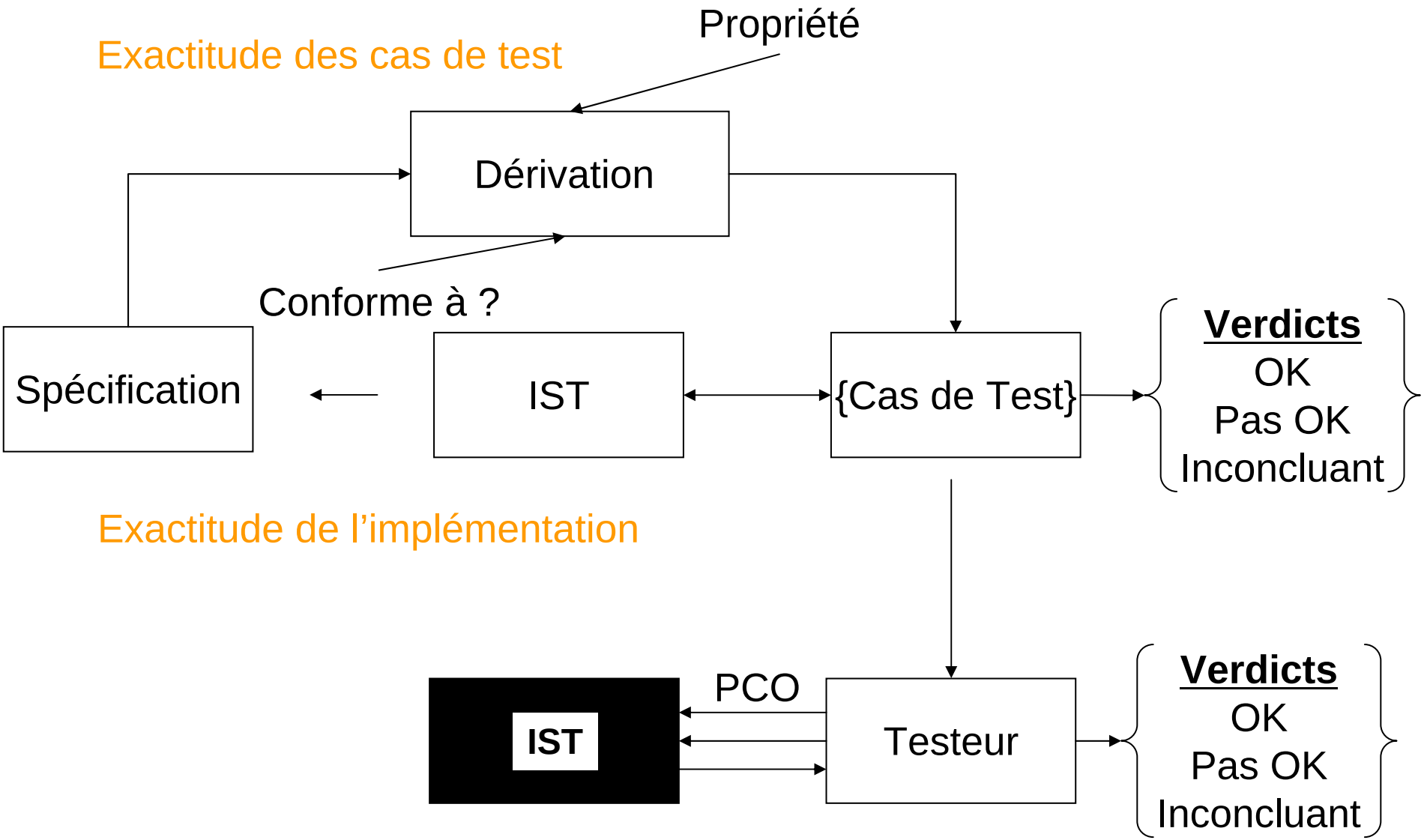
Pratique industrielle

En général : conception manuelle des cas de test à partir d'une spécification informelle

- processus long et répétitif
- coût important
- Aucune assurance sur le correction des cas de test
- Délicate maintenance des cas de test cases

⇨**La génération automatique des cas de test à partir de la spécifications formelle est très intéressante !**

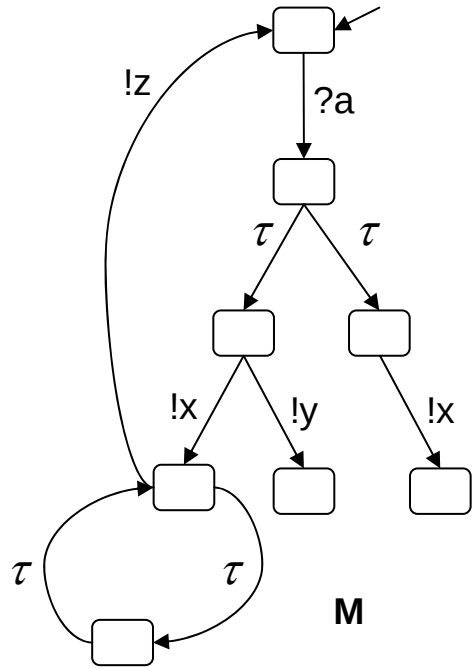
Théorie du test de conformité



Systèmes de transitions étiquetées à entrée/sortie

IOLTS $M=(Q^M,\sum^M,\rightarrow^M,q_0^M)$, où :

- Q^M un ensemble fini d'états avec q_0^M comme état initial,
- $\sum^M = \sum^M_I \cup \sum^M_o$ un ensemble d'événements observables
  - $\sum^M_I$ un ensemble fini d'entrée (?a),
  - $\sum^M_o$ un ensemble fini de sortie (!a),
- $\rightarrow_M \subseteq Q^M \times (\sum^M \cup \{\tau\}) \times Q^M$ *la relation de transition*
  - τ une action interne (pas dans $\sum^M$)



Notations

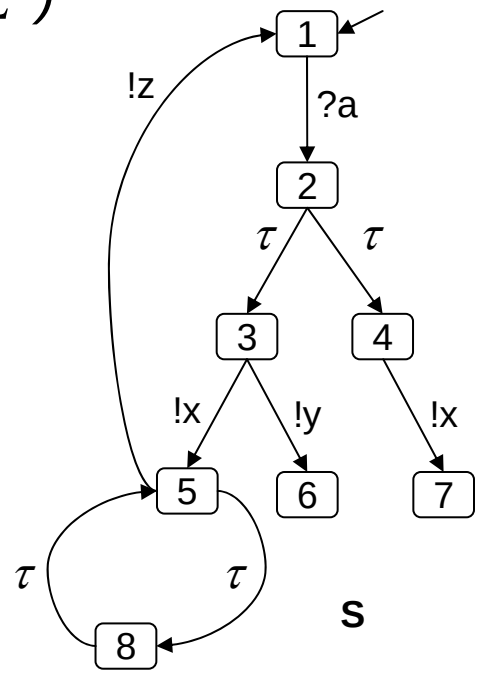
M =(Q^M,Σ^M,$\rightarrow^M$,$q_0{}^M$):IOLTS ; q,q'$\in Q^M$; a$\in\Sigma^M$; $\varepsilon,\sigma,\sigma' \in(\Sigma^M)^*$

$\Rightarrow$ décrit des comportements visibles de M :

$q \Rightarrow^{\varepsilon} q'$ ≡ q=q' or $q \rightarrow^{\tau^*} q'$

$q \Rightarrow^{a} q'$ ≡ $\exists q1,q2 \in Q^M \mid q \Rightarrow^{\varepsilon} q1 \rightarrow^{a} q2 \Rightarrow^{\varepsilon} q'$

$q \Rightarrow^{a\sigma'} q'$ ≡ $\exists q1 \in Q^M \mid q \Rightarrow^{a} q1 \Rightarrow^{\sigma'} q'$



q after σ définit l'ensemble des états accessibles à partir de q par la séquence visible σ :

q after σ ≡ {q'$\in Q^M \mid q \Rightarrow^{\sigma} q'$}

M after σ ≡ {q'$\in Q^M \mid q_0{}^M \Rightarrow^{\sigma} q'$}

$Out_M(q)$ est l'ensemble des actions de sortie à partir de q :

$Out_M(q)$ ≡ $\{a \in \Sigma^M{}_o \mid \exists q' \in Q^M, q \rightarrow_M{}^a q'\}$

Traces(q) décrit les séquences visibles à partir de q :

Traces(q) ≡ $\{\sigma \in (\Sigma^M)^* \mid \exists q' \in Q^M, q \Rightarrow^{\sigma} q'\}$

Traces(M) décrit les comportements visibles de M : Traces(M) ≡ Trace($q_0{}^M$)

Exercices

M =(Q^M,Σ^M,$\rightarrow^M$,q_0^M):IOLTS ; q,q'$\in Q^M$; a$\in\Sigma^M$; $\varepsilon,\sigma,\sigma' \in (\Sigma^M)^*$

$q \Rightarrow^{\varepsilon} q'$ ≡ q=q' or $q \rightarrow^{\tau^*} q'$

$1 \Rightarrow^{\varepsilon} 1$ ≡ ?

$2 \Rightarrow^{\varepsilon} 2$ ≡ ?

$3 \Rightarrow^{\varepsilon} 3$ ≡ ?

$2 \Rightarrow^{\varepsilon} 3$ ≡ ?

$2 \Rightarrow^{\varepsilon} 8$ ≡ ?

$5 \Rightarrow^{\varepsilon} 8$ ≡ ?

$3 \Rightarrow^{\varepsilon} 8$ ≡ ?

$q \Rightarrow^{a} q'$ ≡ $\exists q1,q2 \in Q^M \mid q \Rightarrow^{\varepsilon} q1 \rightarrow^{a} q2 \Rightarrow^{\varepsilon} q'$

$1 \Rightarrow^{?a} 1$ ≡ ?

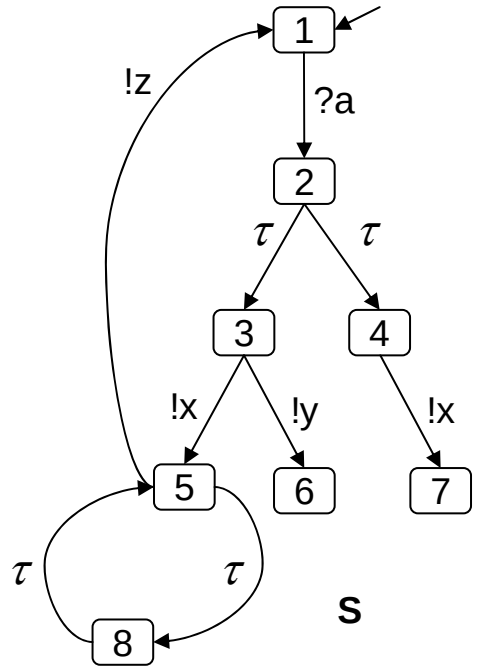
$1 \Rightarrow^{?a} 2$ ≡ ?

$2 \Rightarrow^{!x} 8$ ≡ ?

$q \Rightarrow^{a\sigma'} q'$ ≡ $\exists q1 \in Q^M \mid q \Rightarrow^{a} q1 \Rightarrow^{\sigma'} q'$

$1 \Rightarrow^{?a!x} 8$ ≡ ?

$5 \Rightarrow^{?a!x!z} 8$ ≡ ?



==========

$2 \Rightarrow^{\sigma} 8 : \sigma = ?$

$4 \Rightarrow^{\sigma} 5 : \sigma = ?$

Exercices

M =(Q^M,Σ^M,$\rightarrow^M$,q_0^M):IOLTS ; q,q'$\in Q^M$; a$\in\Sigma^M$; $\varepsilon,\sigma,\sigma' \in (\Sigma^M)^*$

q after σ ≡ {q'$\in Q^M$ | q$\Rightarrow^{\sigma}$q'}

1 after ?a.!x ≡

1 after ?a.!y ≡

1 after ?a ≡

1 after !x ≡

1 after ε ≡

2 after ε ≡

3 after ε ≡

5 after ε ≡

5 after !z.?a ≡

M after σ ≡ {q'$\in Q^M$ | $q_0^M\Rightarrow^{\sigma}$q'}

M after ?a.!x ≡

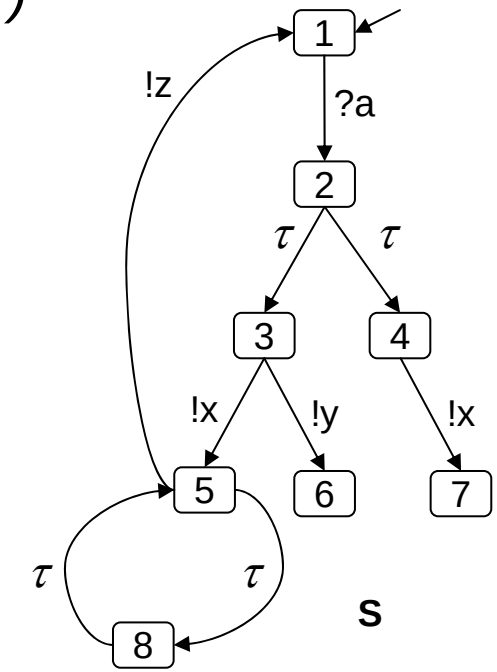
M after ?a.!y ≡

M after ?a ≡

M after !x ≡

M after ε ≡

M after !z.?a ≡



Exercices

M =(Q^M,$\sum^M$,$\rightarrow^M$,$q_0{}^M$):IOLTS ; q,q'$\in Q^M$; a$\in\sum^M$; $\varepsilon,\sigma,\sigma' \in(\sum^M)^*$

$Out_M(q) \equiv \{a \in \sum^M{}_o \mid \exists q' \in Q^M,\ q \rightarrow_M{}^a q'\}$

$Out_M(1) \equiv$

$Out_M(2) \equiv$

$Out_M(3) \equiv$

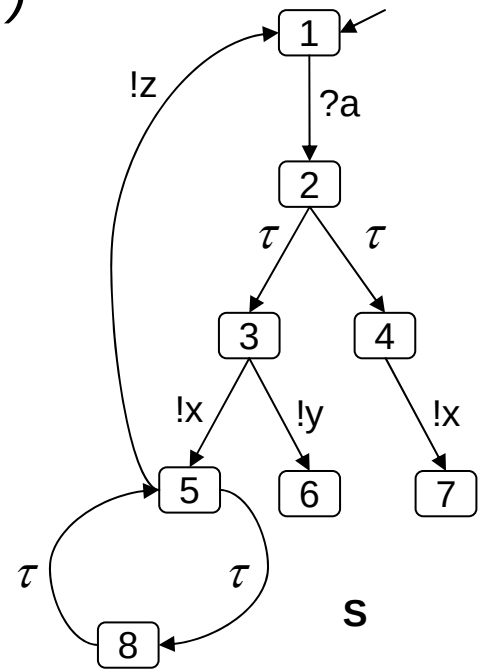
$Out_M(4) \equiv$

$Out_M(5) \equiv$

$Out_M(6) \equiv$

$Out_M(7) \equiv$

$Out_M(8) \equiv$



Exercices

M =(Q^M,$\sum^M$,$\rightarrow^M$,$q_0{}^M$):IOLTS ; q,q'$\in Q^M$; a$\in\sum^M$; $\varepsilon,\sigma,\sigma' \in(\sum^M)^*$

Traces(q) ≡ $\{\sigma\in(\sum^M)^* \mid \exists q'\in Q^M, q\Rightarrow^{\sigma} q'\}$

Traces(3) ≡

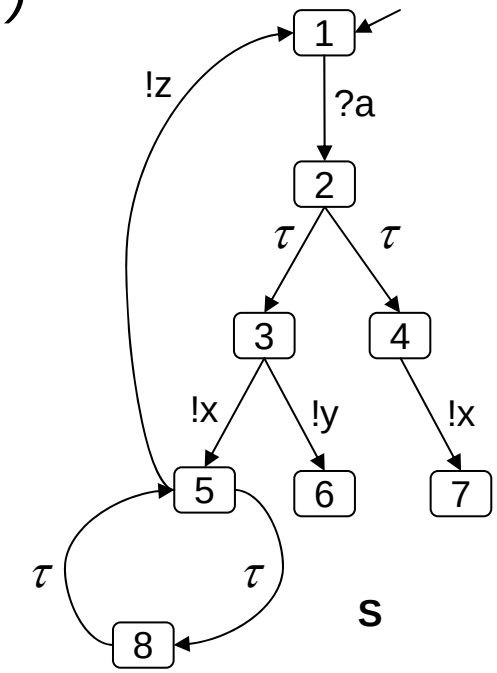
Traces(4) ≡

Traces(6) ≡

Traces(7) ≡

Traces(M) ≡ Trace($q_0{}^M$)

Traces(M) ≡



Hypothèses de Test

Modèle pour la Spécification : IOLTS $S = (Q^s, \sum^s, \rightarrow^s, q_0^s)$

Modèle pour l'Implémentation : IOLTS $IUT = (Q^{IUT}, \sum^{IUT}, \rightarrow^{IUT}, q_0^{IUT})$
avec $\sum^s{}_I \subseteq \sum^{IUT}{}_I$ et $\sum^s{}_o \subseteq \sum^{IUT}{}_o$ et input-complet.

Un IOLTS M est dit input-complet (input-enable) si M accepte toutes les entrées dans tous ses états. Formellement,

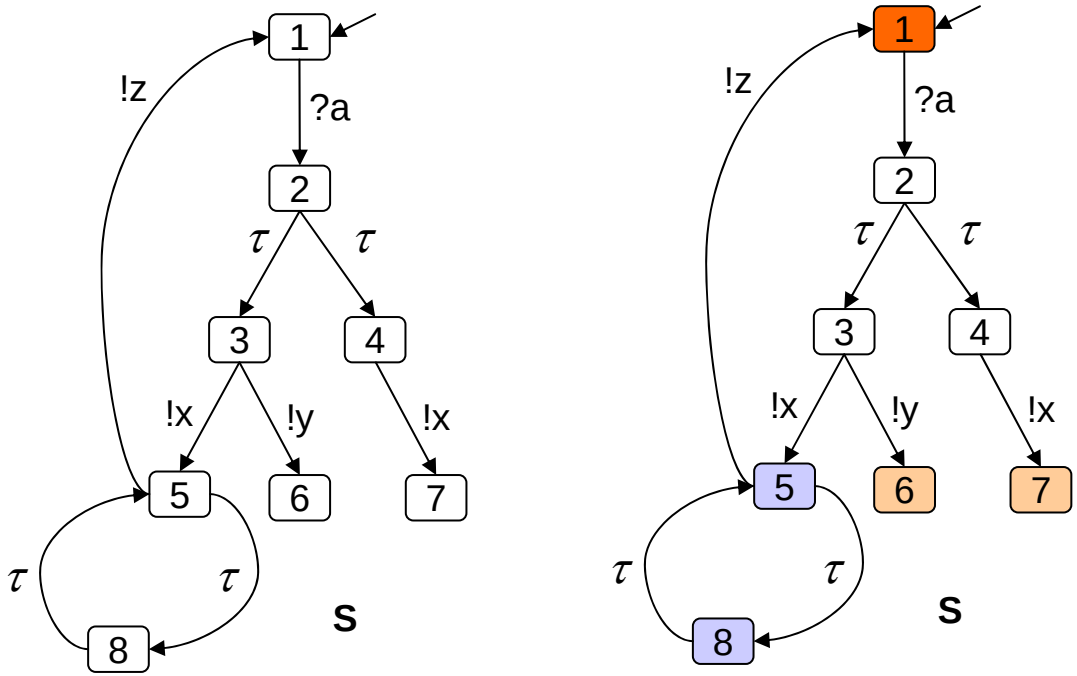
$$\forall q \in Q^M, \forall a \in \sum^M{}_i, \exists q' \in Q^M, q \Rightarrow^a q'$$

Comportement visible : traces + silences

Un testeur observe des traces de l'IST, mais aussi les silences.

– Silence: absence de comportement 'visible'

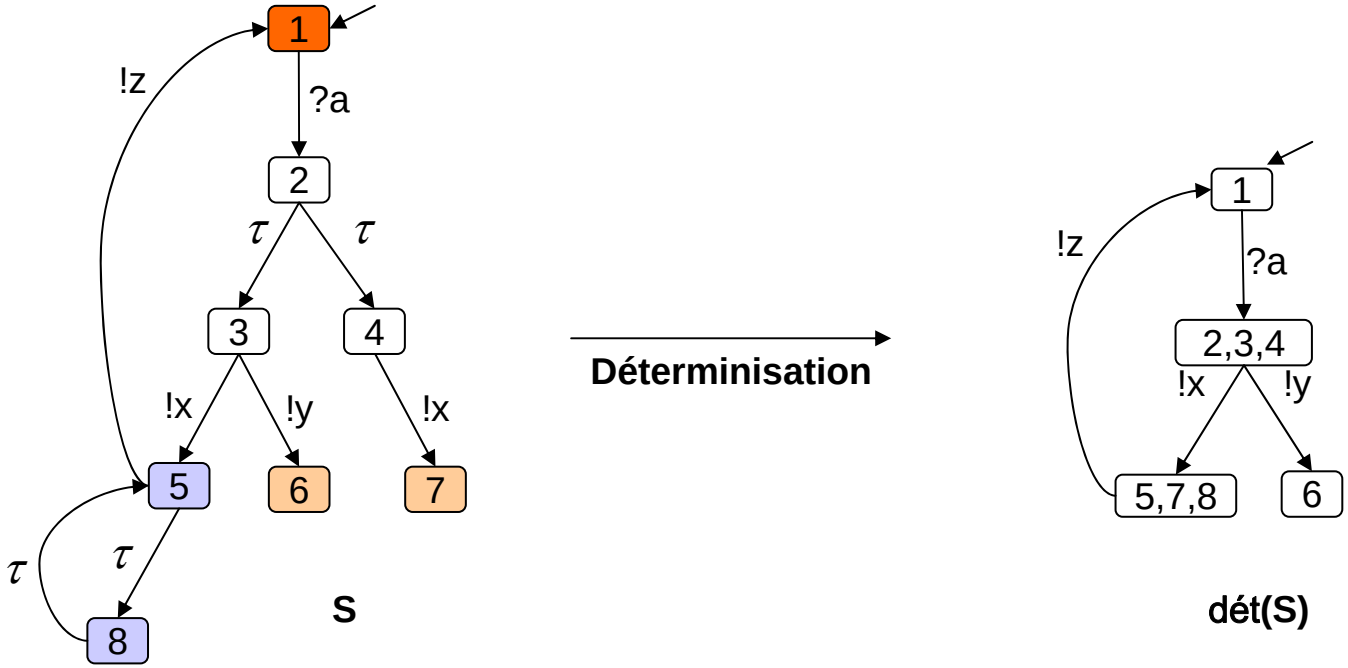
– 3 types de silence : deadlock, livelock et **input-lock**.



Caractérisation des traces d'un IOLTS

Deux séquences avec la même trace ne peuvent être distinguées.

=> Nous considérons le IOLTS déterministe dét(S) qui a les mêmes traces que S.



Mais la déterminisation ne préserve pas les silences !

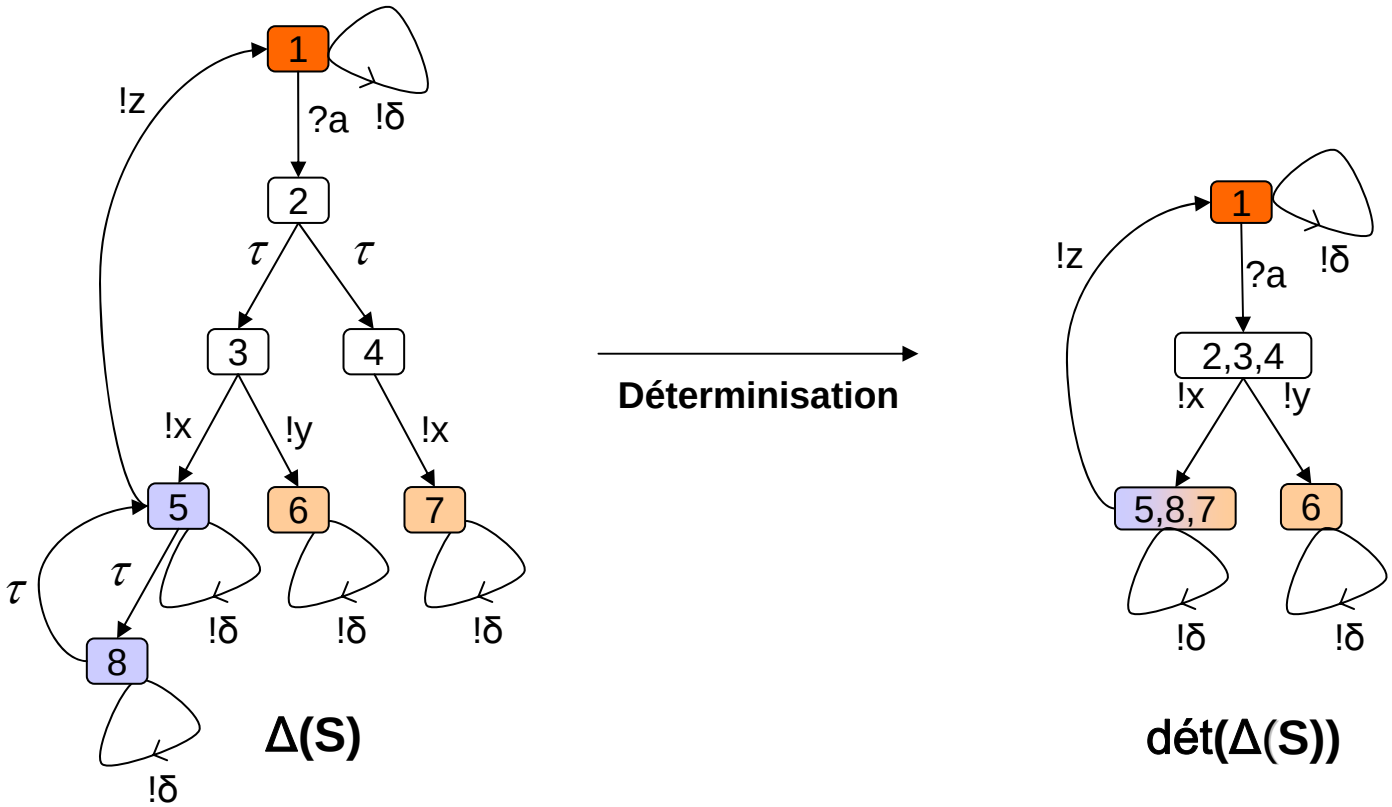
⇒ Une solution consiste à expliciter les silences [TRE96].

Automate de suspension

Tretmans96

Pour expliciter les silences, l'absence de comportement visible est modélisée par un événement de sortie !δ (silence) :

- Automate de suspension Δ(S) = S + boucle de !δ sur chaque 'état de silence'
- Traces Suspendues de S : STraces(S) = Traces(Δ(S)).
- dét(Δ(S)) caractérise les comportements visibles de S.



Relation de Conformité

Tretmans96

IUT ioco S ≡ $\forall \sigma \in STraces(S) : out(\Delta(IUT) \text{ after } \sigma) \subseteq out(\Delta(S) \text{ after } \sigma)$

Littéralement :

Pour tout comportement observable σ de S, une possible (observable) sortie de l'IST après σ est aussi une possible (observable) sortie de la spécification après σ.

Intuition :

IUT ioco-conforme à S, ssi :

si IUT produit la sortie x après la trace σ,
alors S peut produire x après σ.

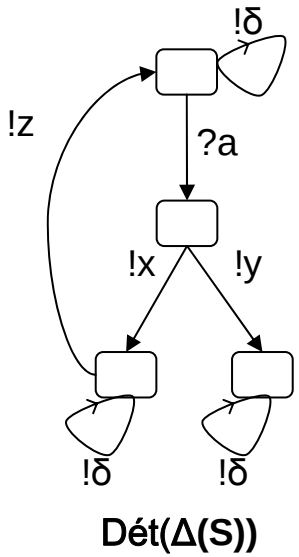
si IUT ne peut pas produire de sortie après la trace σ,
alors S ne peut pas produire de sortie après σ (silence δ).

Relation de Conformité

Tretmans96

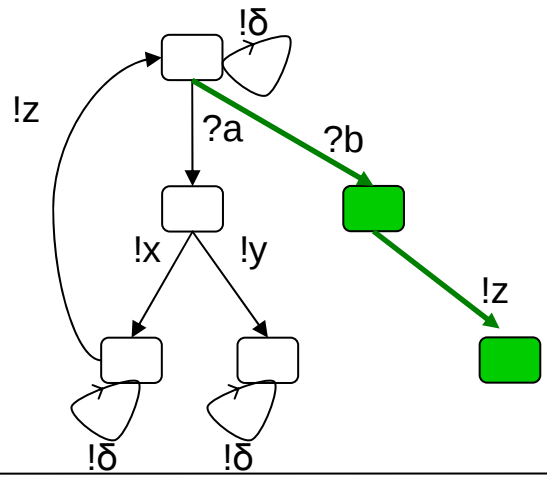
IUT ioco S ≡ ∀σ ∈ STraces(S) : out(Δ(IUT) after σ)⊆ out(Δ(S) after σ)

Pour tout comportement observable σ de S, une possible (observable) sortie de l'IST après σ est aussi une possible (observable) sortie de la spécification après σ.



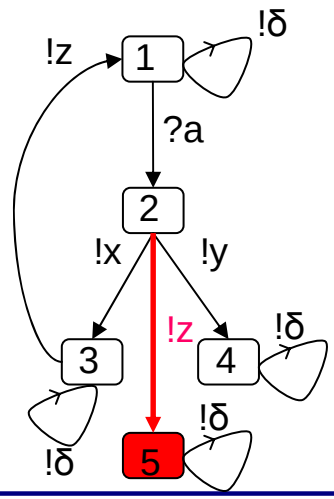
Dét(Δ(S))

IUT1 ioco S



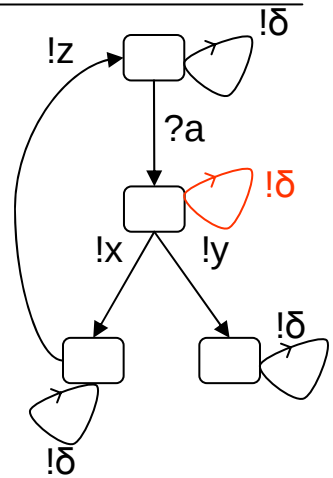
Δ(IUT1)

¬(IUT2 ioco S)



Δ(IUT2)

¬(IUT3 ioco S)

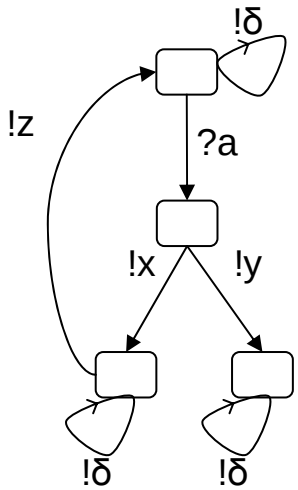


Δ(IUT3)

Relation de Conformité

IUT ioconf S ≡ ∀σ ∈ Traces(S) out(IUT after σ)⊆ out(S after σ)

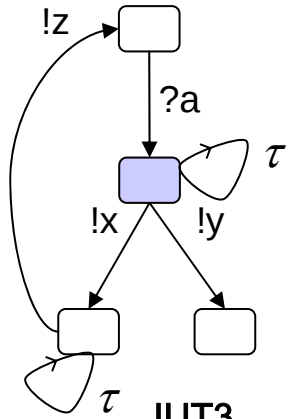
IUT ioco S ≡ ∀σ ∈ STraces(S) out(Δ(IUT) after σ)⊆ out(Δ(S) after σ)



Det(Δ(S))

out(Δ(IUT3) after ?a) = {!x,!y,!δ}

out(Δ(S) after ?a) = {!x,!y}



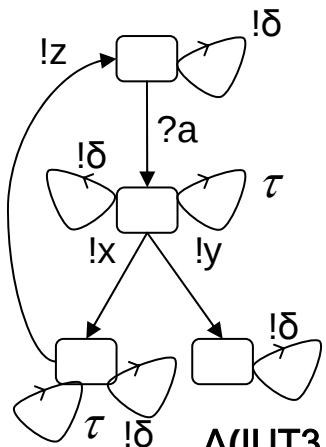
IUT3

IUT3 ioconf S ?

OUI

IUT3 ioco S ?

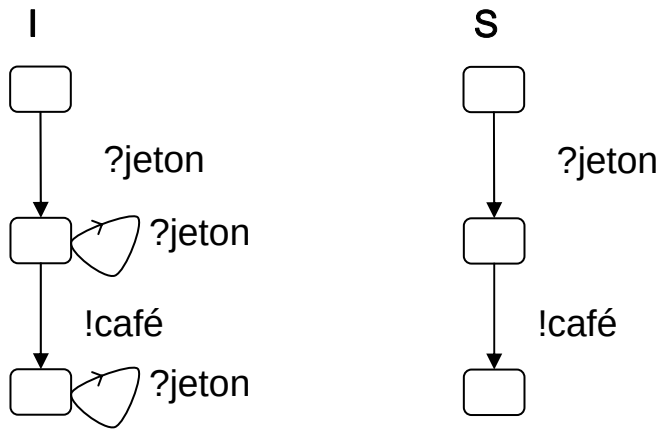
NON



Δ(IUT3)

Exercice

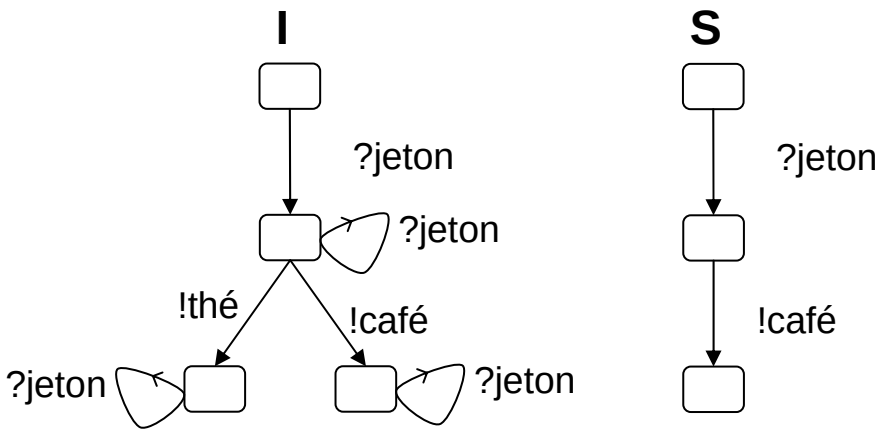
I ioco S ≡ $\forall \sigma \in STraces(S) : out(\Delta(I) \text{ after } \sigma) \subseteq out(\Delta(S) \text{ after } \sigma)$



I ioco S ?

Exercice

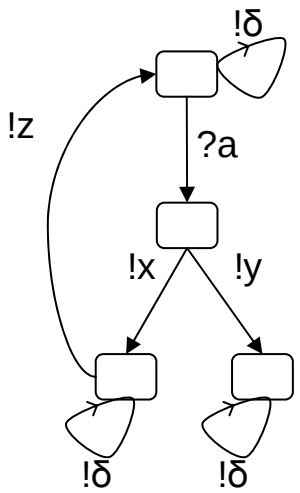
I ioco S ≡ $\forall \sigma \in STraces(S) : out(\Delta(I) \text{ after } \sigma) \subseteq out(\Delta(S) \text{ after } \sigma)$



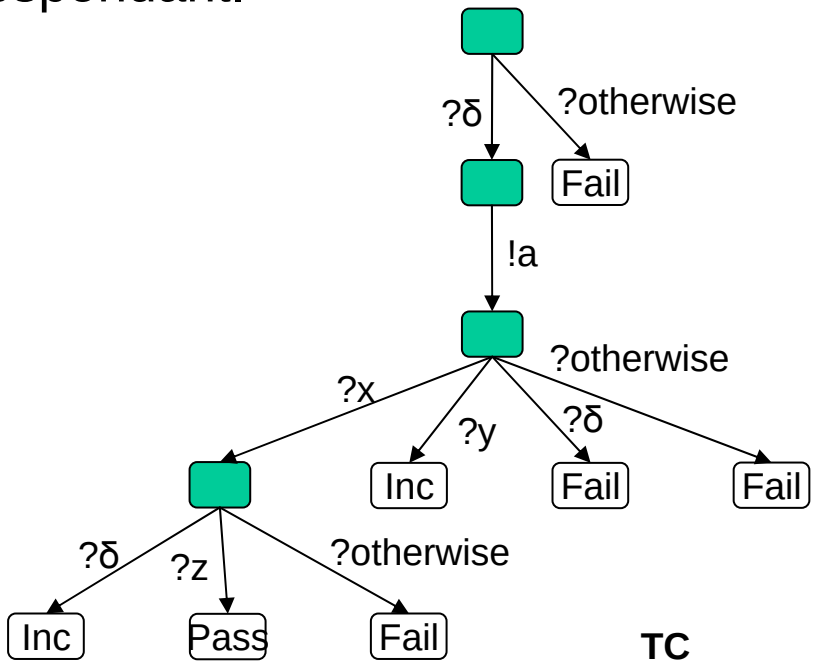
I ioco S ?

Cas de Test : Exemple

- Un cas de test décrit les interactions entre Testeur et IST (Implémentation).
- Un testeur :
  - exécute un cas de test,
  - observe les réactions/comportements de l'IST,
  - les compare avec les comportements attendus du cas de test et
  - déduit le verdict correspondant.



Det(Δ(S))



TC

Cas de Test : Définition

Formellement, un cas de test TC est un *IOLTS acyclique avec une notion de verdicts :*

$TC = (Q^{TC}, \Sigma^{TC}, \rightarrow^{TC}, q_0{}^{TC})$ avec $\Sigma^{TC}{}_o \subseteq \Sigma^{s}{}_I$ et $\Sigma^{TC}{}_I \subseteq \Sigma^{IUT}{}_o$ U {?δ}

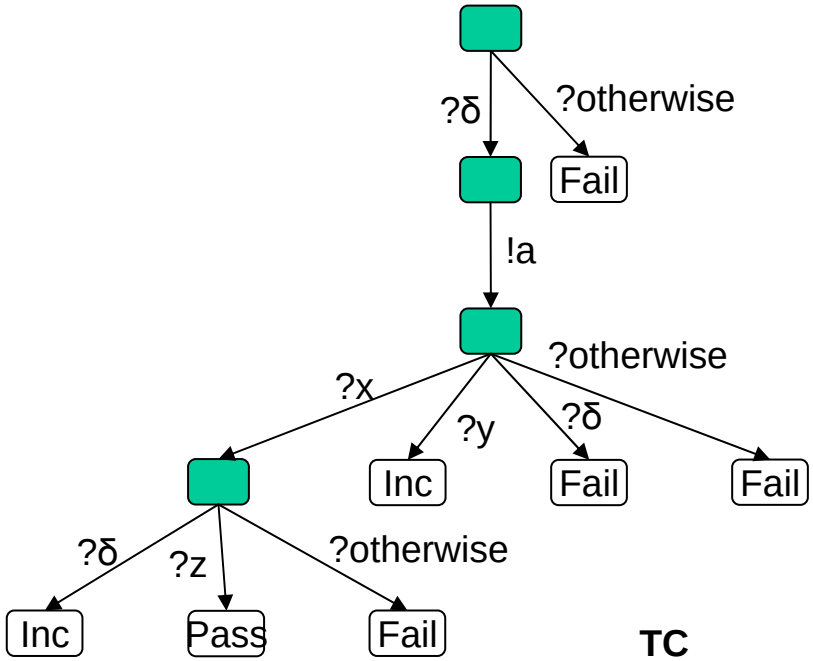
- $Q_{Pass} \subseteq Q^{TC}$ *and* $Q_{Fail} \subseteq Q^{TC}$ *and* $Q_{Inconc} \subseteq Q^{TC}$ (verdict states).

[!δ: silence visible / ?δ: expiration du temporisateur]

Cas de Test : Hypothèses

Hypothèses sur les cas de test :

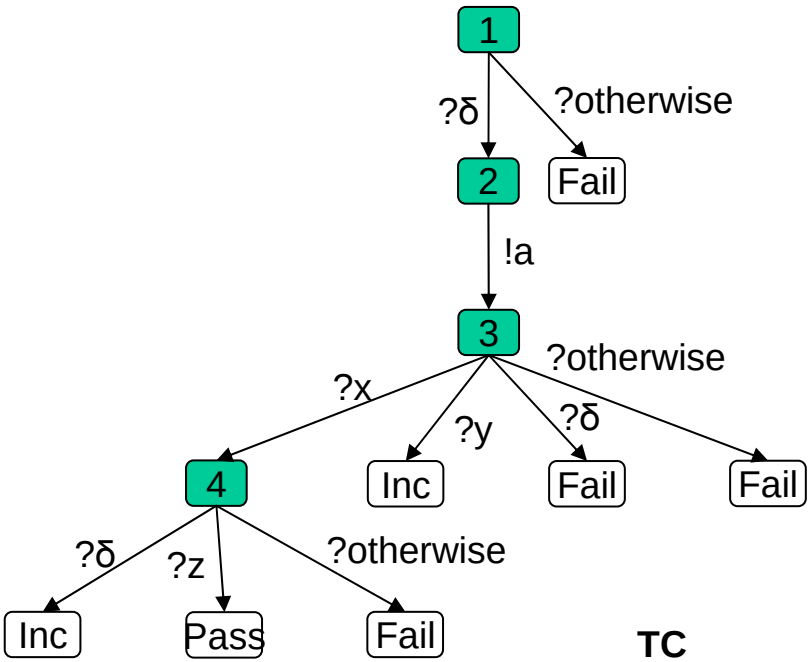
- contrôlable : pas de choix entre une sortie et une autre action,
- Input-complet dans tous les états où une entrée est possible (?otherwise)
- Les états de verdict sont uniquement atteints après des entrées.



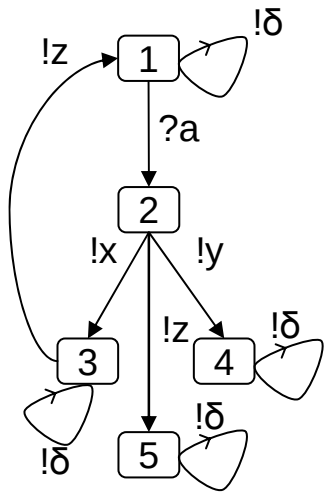
Exécution d'un cas de test

L'exécution d'un cas de test TC avec une implémentation IST est modélisée par la composition parallèle TC//Δ(IUT) avec une synchronisation sur les actions visibles communes (l'événement ?a synchronisé avec !a).

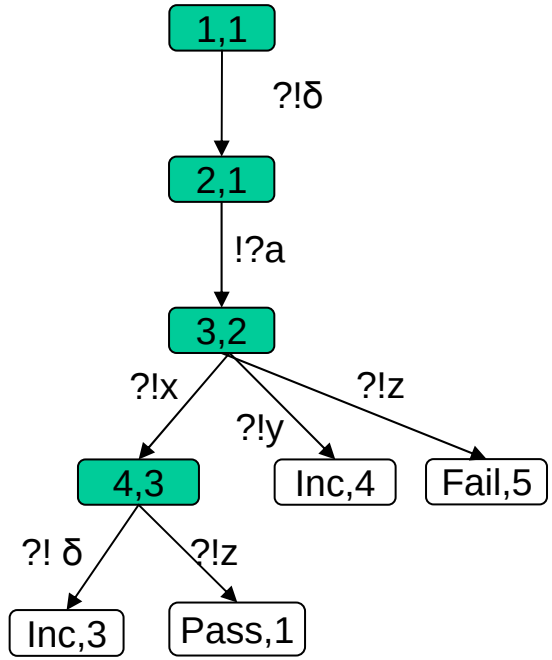
Exemple : Exécution de TC avec IUT2



TC

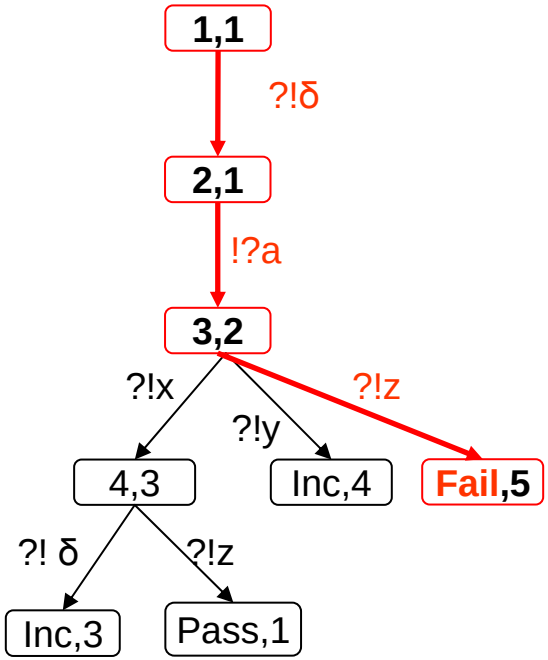


Δ(IUT2)



TC // Δ(IUT2)

Exécution d'un cas de test et verdict



TC//Δ(IUT2)

- TC//Δ(IUT) donne toutes les exécutions possibles.
- TC//Δ(IUT) s'arrête uniquement dans un état de : $(Q_{Pass} \cup Q_{Fail} \cup Q_{Inc}) \times Q^{IUT}$

Exécution : une trace maximale de *TC // Δ(IUT).*
Verdict : un état de TC atteint à la fin de l'exécution.

Formellement, nous définissons :

1. Une exécution σ d'un cas de test TC avec l'implémentation IUT est un élément de *MaxTraces(TC//Δ(IUT))*
2. verdict(σ) = fail (resp. *pass*, *inconc*) ≡ (TC after σ) $\subseteq Q_{Fail}$ (resp Pass, Inconc)

Avec :
MaxTraces(M) ≡ {σ∈(∑*M*)* | Γ(q0 after σ)=∅}
[Γ(q) est l'ensemble des actions tirables dans q]

Cas de Test et verdicts

Un cas de test peut produire différents verdicts :

Exemple: *TC1* peut produire *Inc* ou *Pass*

Formellement, un rejet possible de l'implémentation IUT par le cas de test *TC* est défini par :

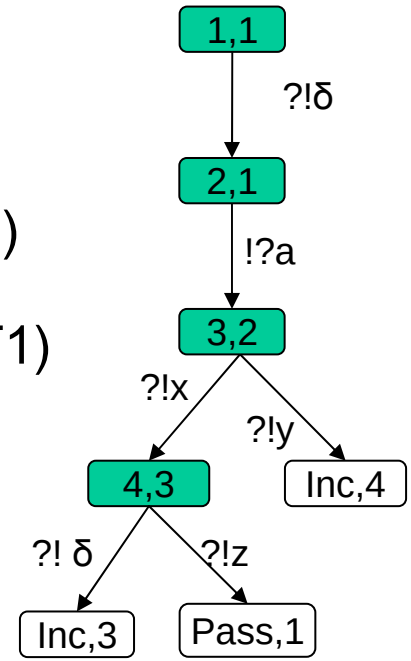
TC may reject IUT

≡

$\exists\ \sigma \in \text{MaxTraces}(TC // \Delta(IUT)), \text{verdict}(\sigma)=\text{fail}$

('may pass' et 'may inconc' sont définis de la même manière)

Exemple : (TC1 may pass IUT1) mais ¬(TC1 may fail IUT1)



TC1 // Δ(IUT1)

Propriétés attendues des cas de test

Non biaisé (Soundness) : un cas de test ne doit pas rejeter une implémentation conforme.

Formellement, une suite de test *TS* est non biaisée pour *S* et *ioco* ssi :

$\forall IUT, \forall TC \in TS, TC \text{ may reject } IUT \Rightarrow \neg(IUT \text{ ioco } S)$

Exhaustivité : une non-conforme implémentation devrait être rejetée par un cas de test.

Formellement, une suite de test *TS* est exhaustive pour *S* et *ioco* ssi :

$\forall IUT, \neg(IUT \text{ ioco } S) \Rightarrow \exists TC \in TS, TC \text{ may reject } IUT$

Problème:

Etant donnée une spécification *S*, une relation de conformité *R* (comme *ioco*), et une propriété *P*, comment **générer** des cas de test pour une implémentation de *S* vérifiant *P*.

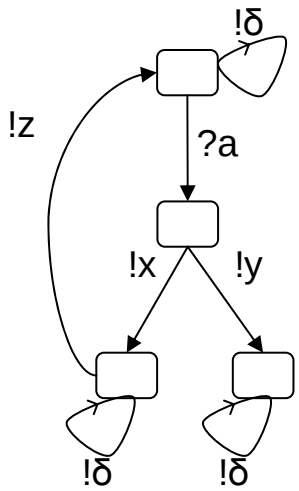
⇒ *TS=GenTest(S,R,P).*

Propriétés peuvent être : *non biaisé*, *exhaustif*, *critère de couverture (permet de définir une méthode de sélection), …/…*

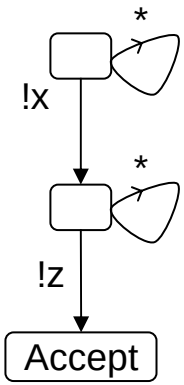
Un exemple de Génération

Spécification: *S*
Relation de Conformité: *ioco*
Propriété: Objectif de Test *OT*

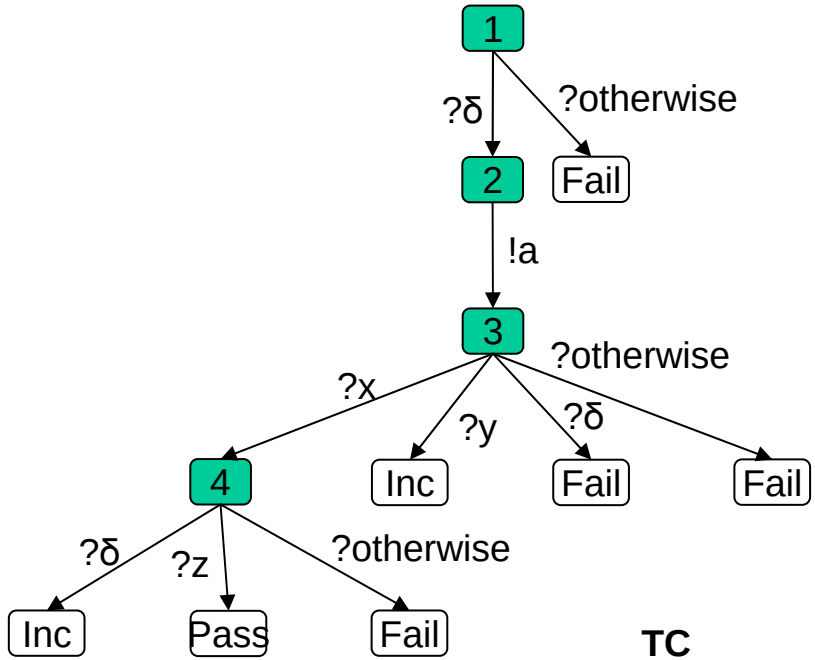
- Accessibilité de *Det(Δ(S))* : trace suspendue de *S* 'acceptée' par *OT*
- Autres algorithmes de génération



Det(Δ(S))



OT



TC

Théorie du test de conformité, en résumé

Modèles pour spécifier :

– Spécification *S*, implémentation *I*, cas de test *TC*, et suite de test *TS*

Formalisation de :

– l'exactitude du test avec une relation (*I ioco S* pour le test de conformité),

– l'exécution du test (par le testeur) et de ses verdicts (*verdicts(exec(I,TC))*, *I pass TS…)*

– Définition de propriétés attendues : *soundness*, *exhaustively*, *coverage*…

⇨ *Définir des méthodes automatiques (algorithme) de dérivation de suite de test pour S avec la bonne propriété P : TC=gen_test(S,ioco,P).*

Se ramène à un problème d'accessibilité…

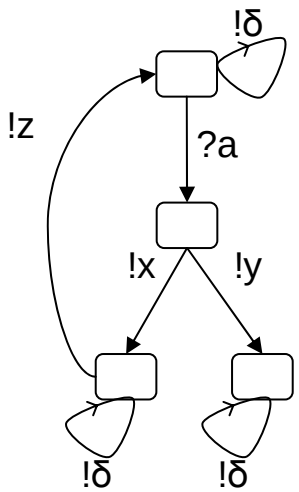
Extension à d'autres type de test (robustesse et ioco_robuste, etc.)

Extension à des systèmes temporisés (automates temporisés et ioco_temporisé)

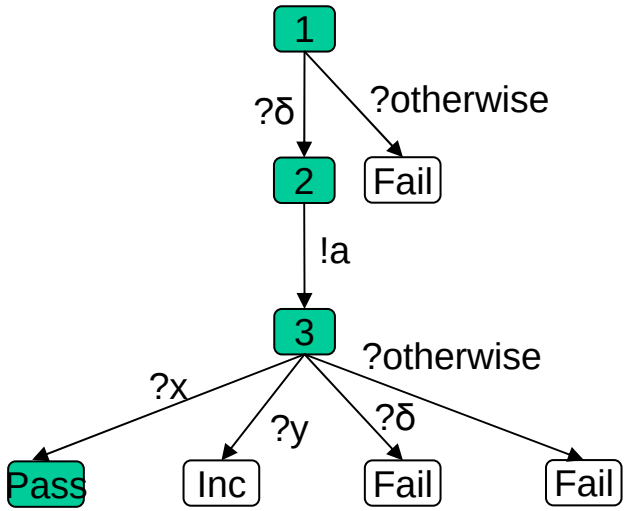
Quelques exercices…

Exercices

Ex1. En considérant la relation de conformité *ioco*, donner un cas de test *TC* pour la spécification *S* vérifiant la propriété *« Après la réception de a, j'envoie un x»*.



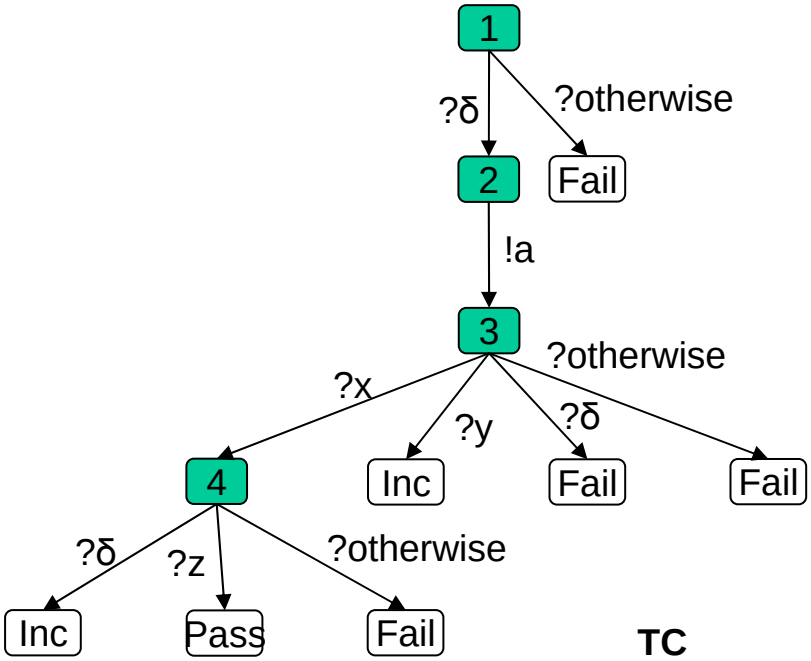
Dét(Δ(S))



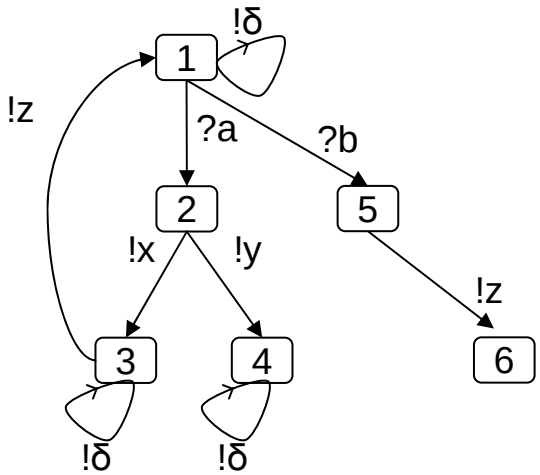
TC

Exercices

Ex2. Donner les exécutions possibles du cas de test *TC* avec *IUT1*



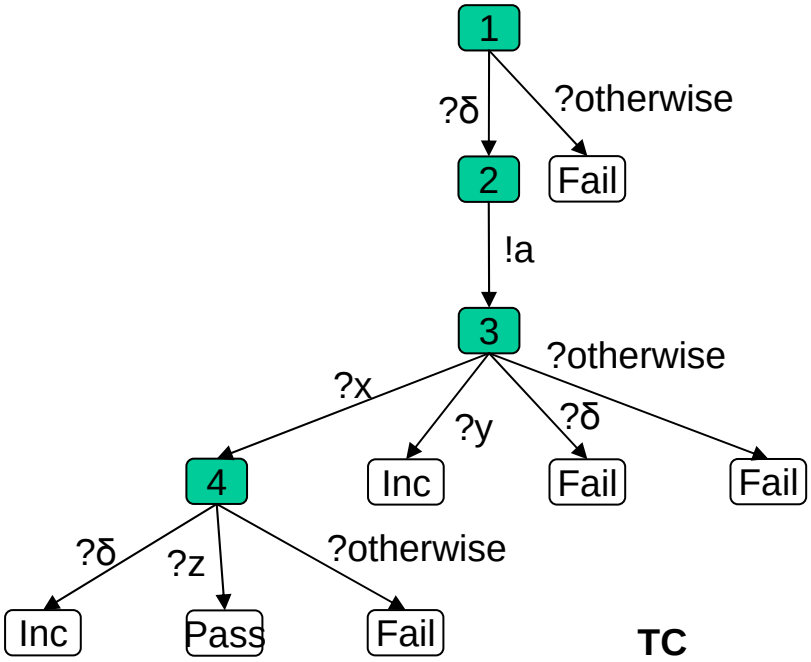
TC



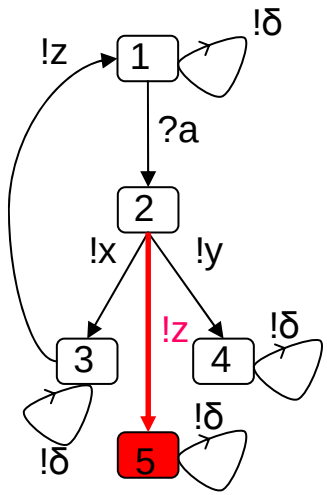
Δ(IUT1)

Exercices

Ex3. Donner les exécutions possibles du cas de test *TC* avec *IUT2.*



TC



Δ(IUT2)