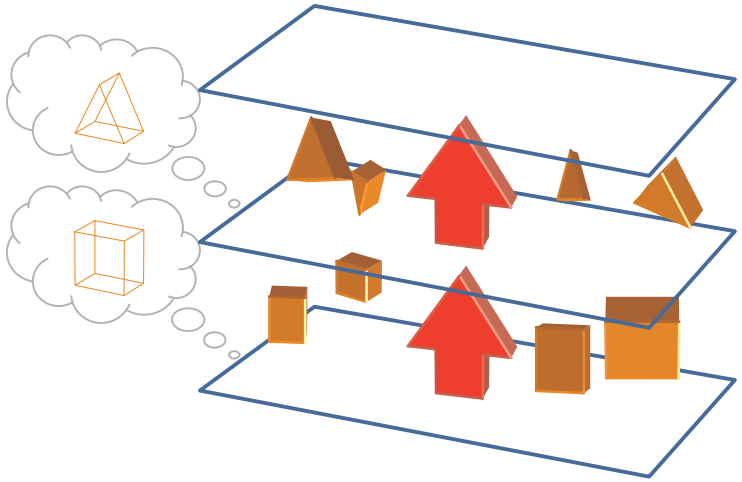


La Réflexivité dans les architectures multi-niveaux : application aux systèmes tolérant les fautes

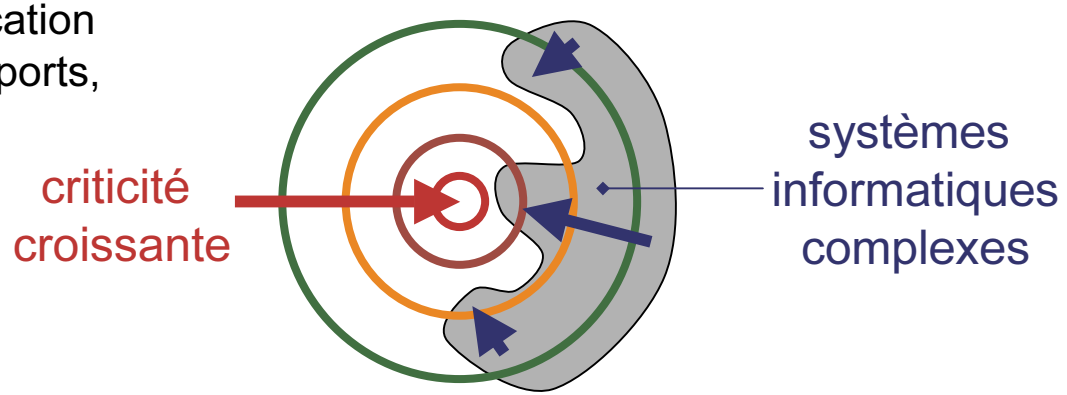
François Taïani

CNRS LAAS

Le contexte

- Des systèmes informatiques de **plus en plus complexes** sont utilisés pour des applications de **plus en plus critiques.**

domaines d'application (domotique, transports, médecine, …)



- Complexité
  - ➔ Dans l'espace : - plusieurs centaines de personnes
    - très nombreux composants / fournisseurs
  - ➔ Dans le temps : très longs cycles de vie : 10, 20 ans
- Criticité : défaillance ⇨ catastrophe (😐😐 / €€)
  - ➔ La sûreté de fonctionnement est incontournable.

La Problématique

- La sûreté de fonctionnement est une propriété globale.
  - ➔ Les « vulnérabilités » portent sur l'ensemble du système.
  - ➔ C'est le comportement global du système qui compte.
  - ➔ Tolérance aux fautes : besoins d'observation + action
    - capture d'état, maîtrise du non déterminisme, *etc.*
- La maîtrise de la complexité privilégie la localité.
  - ➔ Modularité des composants, transparence des mécanismes
  - ➔ Mais aussi « impénétrabilité » de la réalisation ☹
  - ➔ Organisation en « couches » hétérogènes

La Problématique

- La sûreté de fonctionnement est une propriété globale.
  - ➔ Les « vulnérabilités » portent sur l'ensemble du système.
  - ➔ C'est le comportement global du système qui compte.
  - ➔ Tolérance aux fautes : besoins d'observation + action
    - capture d'état, maîtrise du non déterminisme, *etc.*
- La maîtrise de la complexité privilégie la localité.
  - ➔ Modularité des composants, transparence des mécanismes
  - ➔ Mais aussi « impénétrabilité » de la réalisation ☹
  - ➔ Organisation en « couches » hétérogènes

⇨ **Il y a un conflit entre la sûreté de fonctionnement (globalité) et la maîtrise de la complexité (localité)**

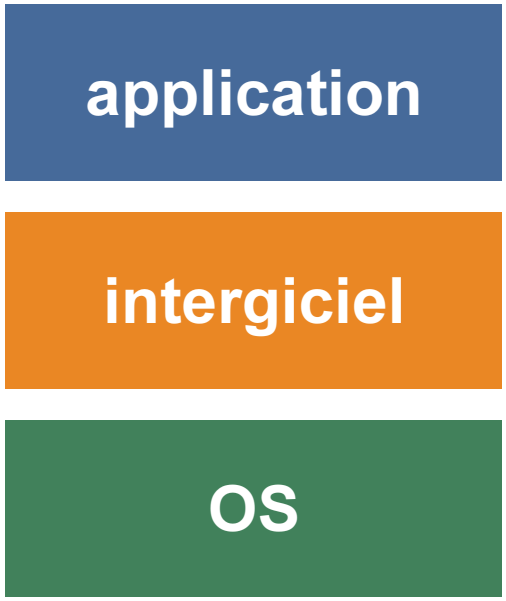
La Problématique

- La sûreté de fonctionnement est une propriété globale.
  - ➔ Les « vulnérabilités » portent sur l'ensemble du système.
  - ➔ C'est le comportement global du système qui compte.
  - ➔ Tolérance aux fautes : besoins d'observation + action
    - capture d'état, maîtrise du non déterminisme, *etc.*
- La maîtrise de la complexité privilégie la localité.
  - ➔ Modularité des composants, transparence des mécanismes
  - ➔ Mais aussi « impénétrabilité » de la réalisation ☹
  - ➔ Organisation en « couches » hétérogènes

⇨ **Il y a un conflit entre la sûreté de fonctionnement (globalité) et la maîtrise de la complexité (localité)**

La pratique actuelle

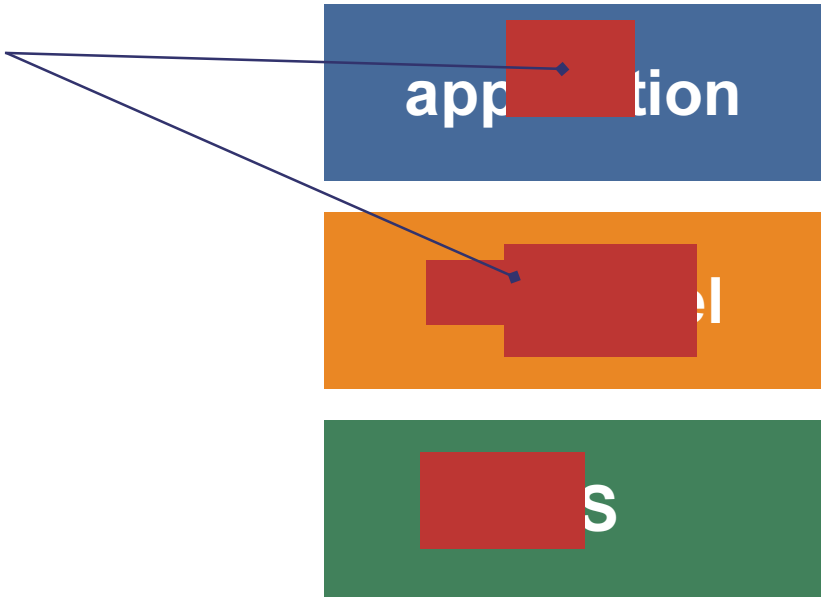
- La plupart des composants du marché ne prennent pas en compte la tolérance aux fautes.



La pratique actuelle

- La plupart des composants du marché ne prennent pas en compte la tolérance aux fautes.
- Des adaptations sur mesure sont nécessaires.

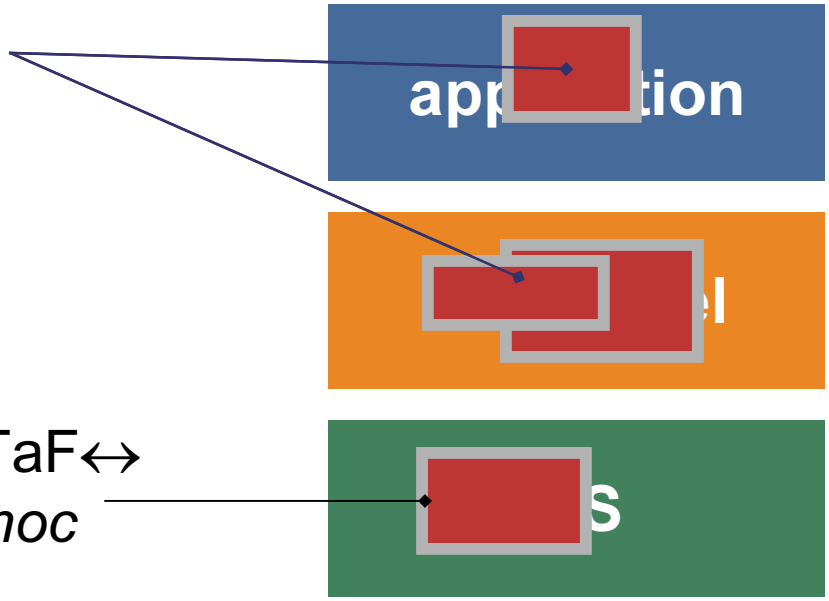
« rustines » de tolérance aux fautes



La pratique actuelle

- La plupart des composants du marché ne prennent pas en compte la tolérance aux fautes.
- Des adaptations sur mesure sont nécessaires.

« rustines » de tolérance aux fautes



connexion code TaF↔
code original *ad-hoc*

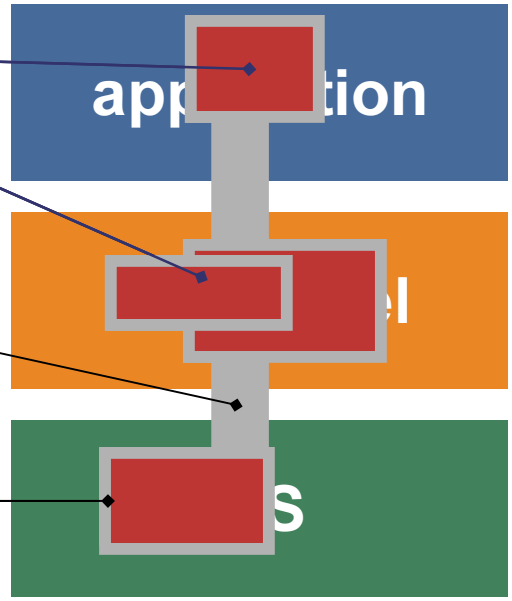
La pratique actuelle

- La plupart des composants du marché ne prennent pas en compte la tolérance aux fautes.
- Des adaptations sur mesure sont nécessaires.

« rustines » de tolérance aux fautes

coordination inter-niveaux *ad hoc*

connexion code TaF↔ code original *ad-hoc*



Les adaptations sur mesure

- Elles ne sont pas réutilisables.
  - ➔ Elles sont spécifiques aux composants choisis.
  - ➔ Le système obtenu est très difficilement maintenable. (€!)
  - ➔ La tolérance aux fautes ne peut pas évoluer.
- Elles dépendent du fournisseur.
  - ➔ Elles utilisent souvent des spécificités non documentées.
    - Exemple : l'OS VxWorks dans la sonde PathFinder
  - ➔ L'intégrateur doit collaborer étroitement avec le fournisseur. (€!)
    - La Nasa avec WindRiver, la SNCF avec ILOG (station d'aiguillage)

Les adaptations sur mesure

- Elles ne sont pas réutilisables.
  - ➔ Elles sont spécifiques aux composants choisis.
  - ➔ Le système obtenu est très difficilement maintenable. (€!)
  - ➔ La tolérance aux fautes ne peut pas évoluer.
- Elles dépendent du fournisseur.
  - ➔ Elles utilisent souvent des spécificités non documentées.
    - Exemple : l'OS VxWorks dans la sonde PathFinder
  - ➔ L'intégrateur doit collaborer étroitement avec le fournisseur. (€!)
    - La Nasa avec WindRiver, la SNCF avec ILOG (station d'aiguillage)

⇨ **Architectures « spaghetti » pour un coût très important !**

Séparation & transversalité

- Nous recherchons un paradigme architectural pour aborder séparément la tolérance aux fautes du reste d'un système complexe.

Séparation & transversalité

- Nous recherchons un paradigme architectural pour aborder séparément la tolérance aux fautes du reste d'un système complexe.
- Or la tolérance aux fautes est un aspect transversal.

  La plupart des mécanismes sont indépendants du domaine d'application.

Séparation & transversalité

- Nous recherchons un paradigme architectural pour aborder séparément la tolérance aux fautes du reste d'un système complexe.
- Or la tolérance aux fautes est un aspect transversal.

  La plupart des mécanismes sont indépendants du domaine d'application.
- Une approche semble prometteuse : la réflexivité.
  - ➔ Elle sépare les aspects transversaux du reste du système.
  - ➔ Déjà utilisée pour la tolérance aux fautes de petits systèmes

Séparation & transversalité

- Nous recherchons un paradigme architectural pour aborder séparément la tolérance aux fautes du reste d'un système complexe.
- Or la tolérance aux fautes est un aspect transversal.

  La plupart des mécanismes sont indépendants du domaine d'application.
- Une approche semble prometteuse : la réflexivité.
  - ➔ Elle sépare les aspects transversaux du reste du système.
  - ➔ Déjà utilisée pour la tolérance aux fautes de petits systèmes

⇨ **La réflexivité permet-elle de mettre en œuvre la tolérance aux fautes dans les systèmes complexes ?**

Plan

Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**

Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes

Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes

Plan

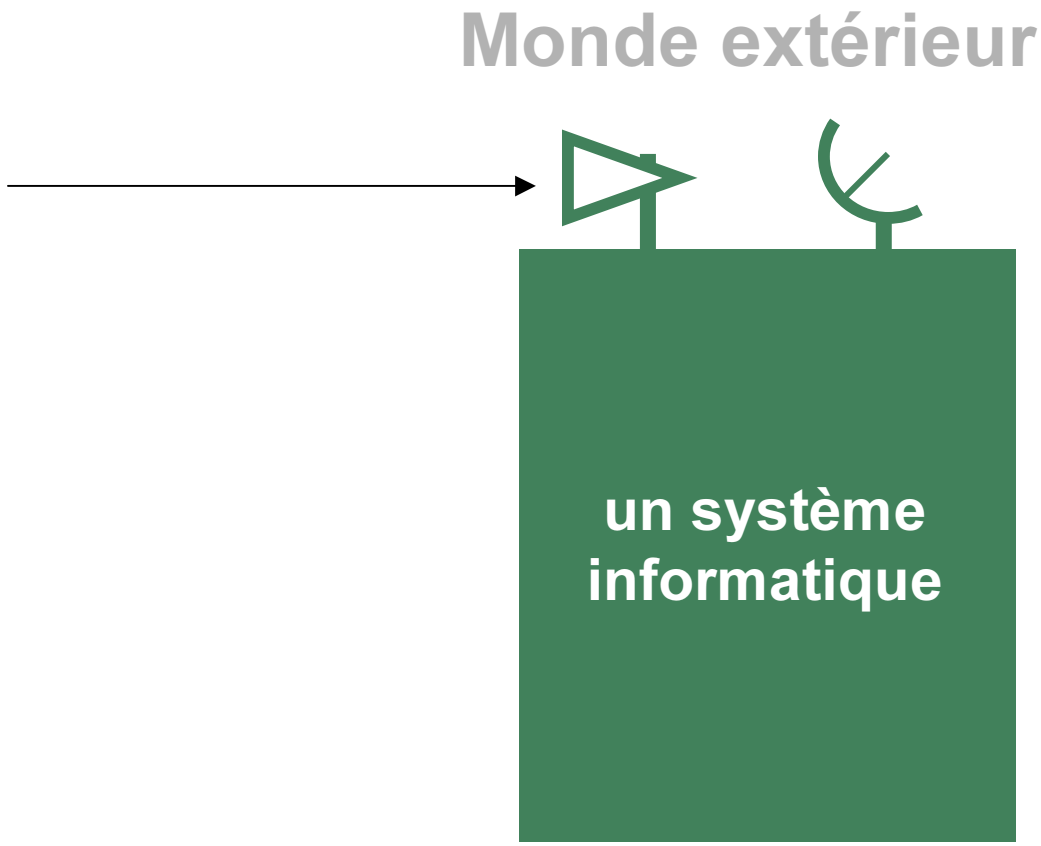
- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes
- **(D)** Application à un exemple concret :
  Réplication multi-traitement d'une plate-forme CORBA / Linux

Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes
- **(D)** Application à un exemple concret :
  Réplication multi-traitement d'une plate-forme CORBA / Linux

Qu'est-ce que la réflexivité ?

interface fonctionnelle,
visible extérieurement

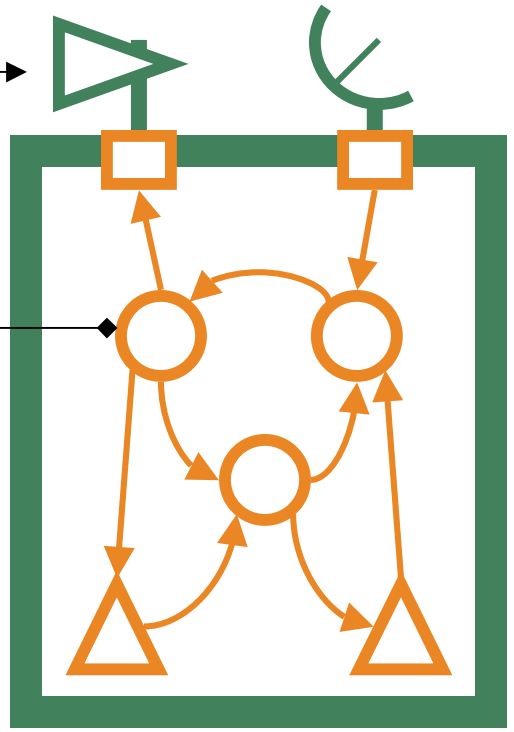


Qu'est-ce que la réflexivité ?

Monde extérieur

interface fonctionnelle,
visible extérieurement

réalisation interne,
invisible depuis l'extérieur
utilise ○ ; △ ; □ ; →

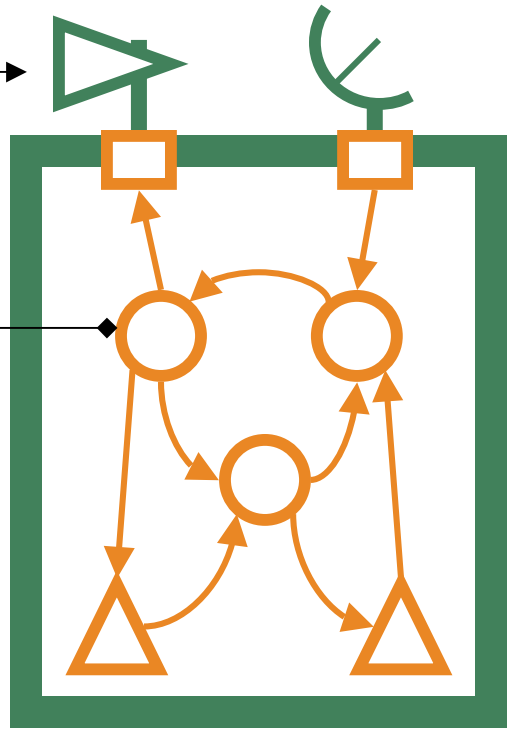


Qu'est-ce que la réflexivité ?

Monde extérieur

interface fonctionnelle,
visible extérieurement

réalisation interne,
invisible depuis l'extérieur
utilise ○ ; △ ; □ ; →



«modèle de programmation» :
procédures + variables,
objets + méthodes ...

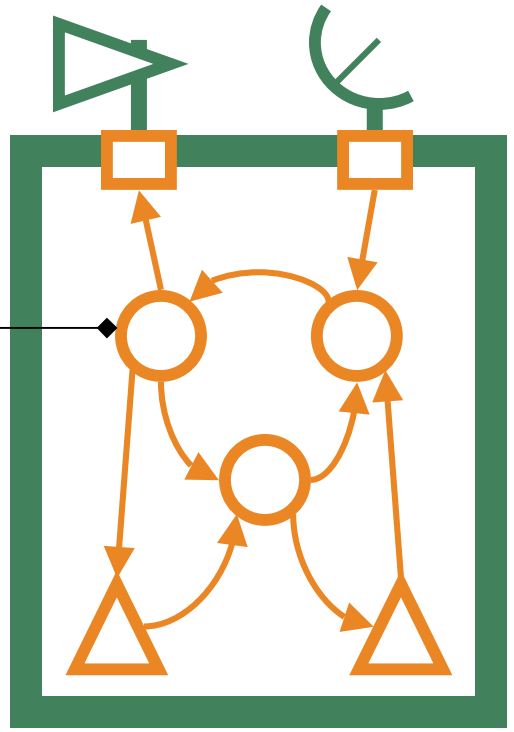
Qu'est-ce que la réflexivité ?

Par défaut : **séparation** stricte entre le **programme** et l'univers sur lequel **il agit**

réalisation interne,
invisible depuis l'extérieur
utilise ○ ; △ ; □ ; →

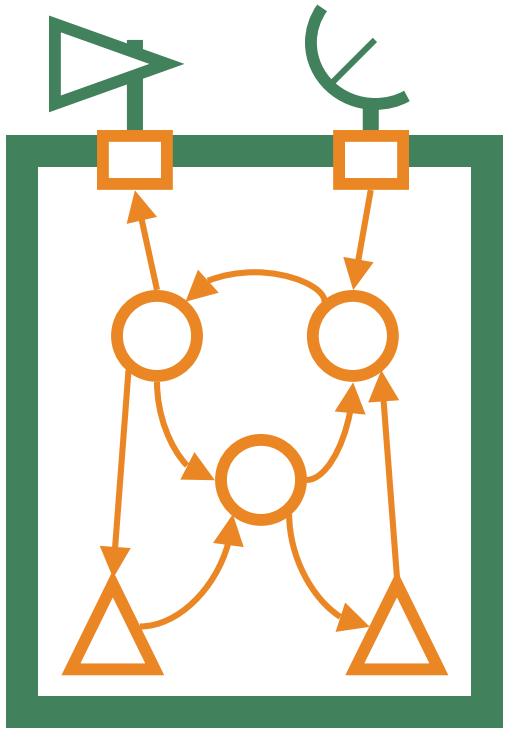
«modèle de programmation» :
procédures + variables,
objets + méthodes ...

Monde extérieur



Qu'est-ce que la réflexivité ?

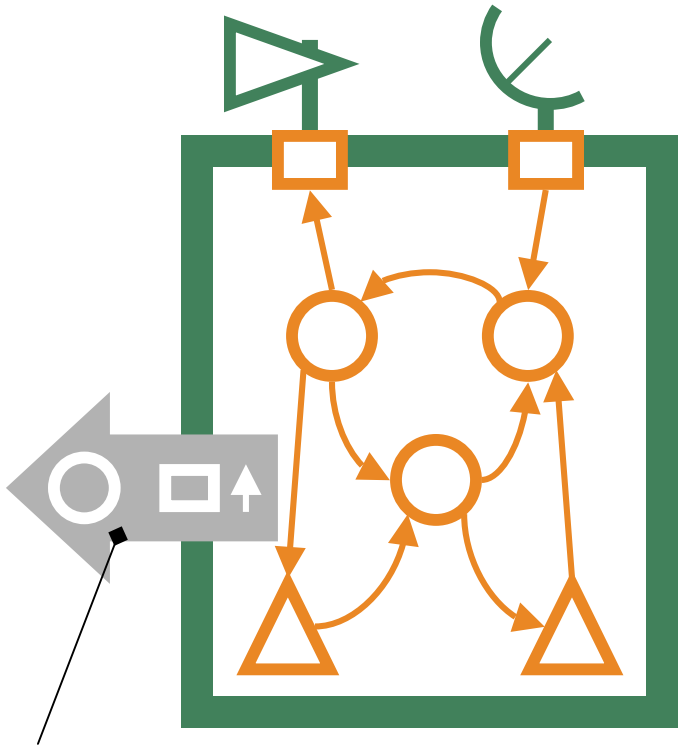
La réflexivité permet de rendre observable et manipulable l'intérieur d'un système.



Qu'est-ce que la réflexivité ?

La réflexivité permet de rendre observable et manipulable l'intérieur d'un système.

Comment ? :
en exportant une représentation de son fonctionnement

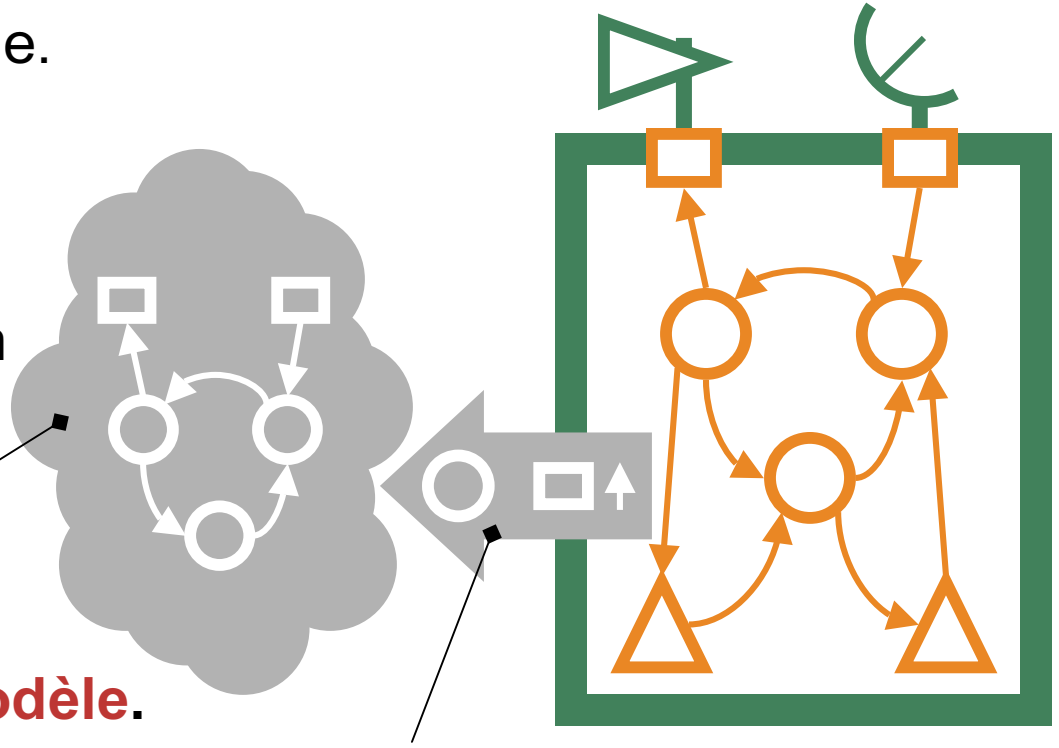


exportation de certains éléments constitutifs du système

Qu'est-ce que la réflexivité ?

La réflexivité permet de rendre observable et manipulable l'intérieur d'un système.

Comment ? :
en exportant une représentation de son fonctionnement

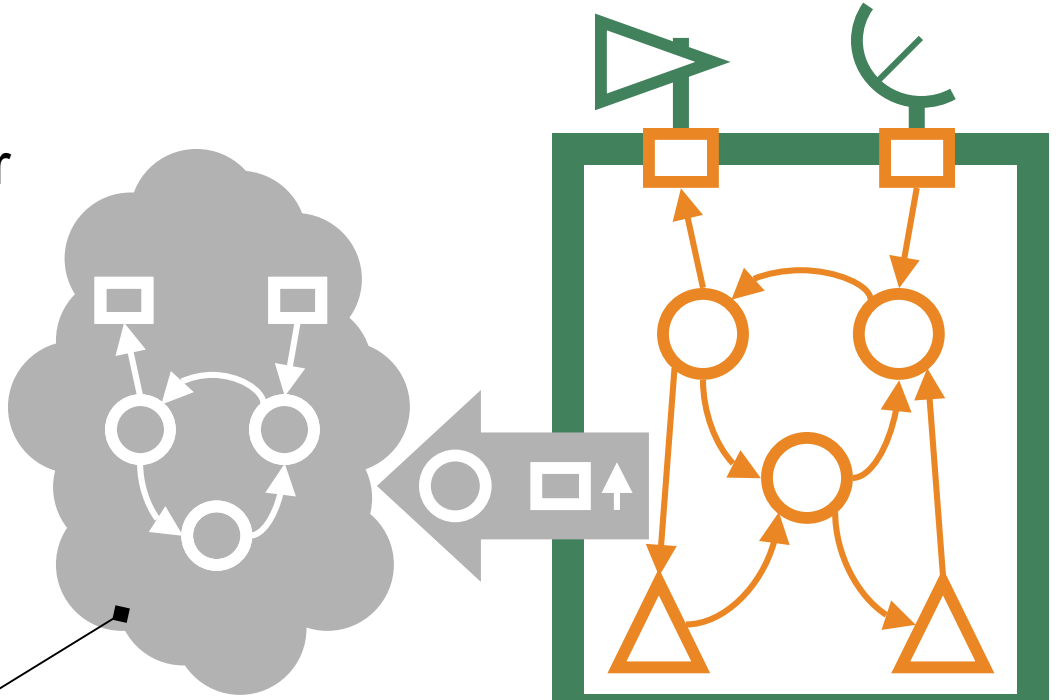


Cette représentation s'appelle un **méta-modèle**.

exportation de certains éléments constitutifs du système

Qu'est-ce que la réflexivité ?

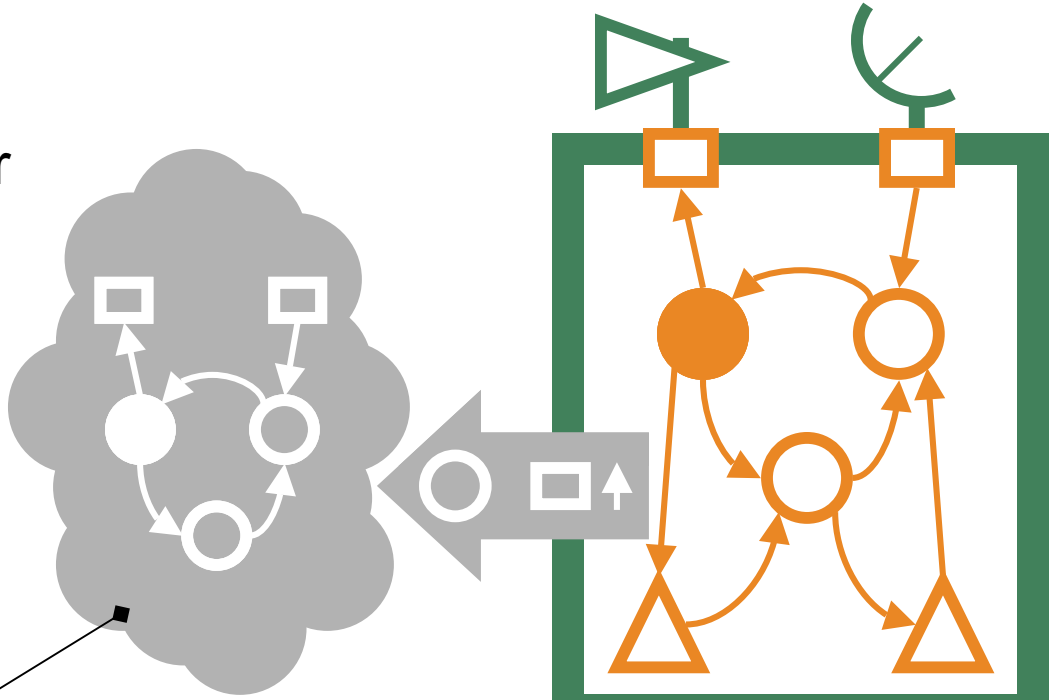
L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.



méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

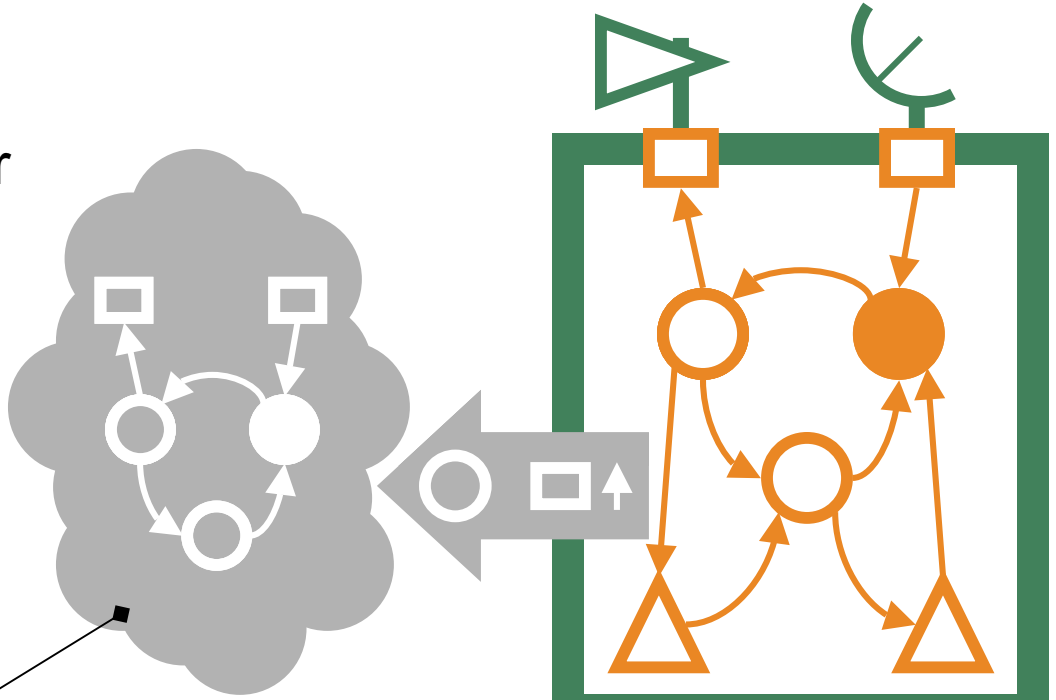
L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.



méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

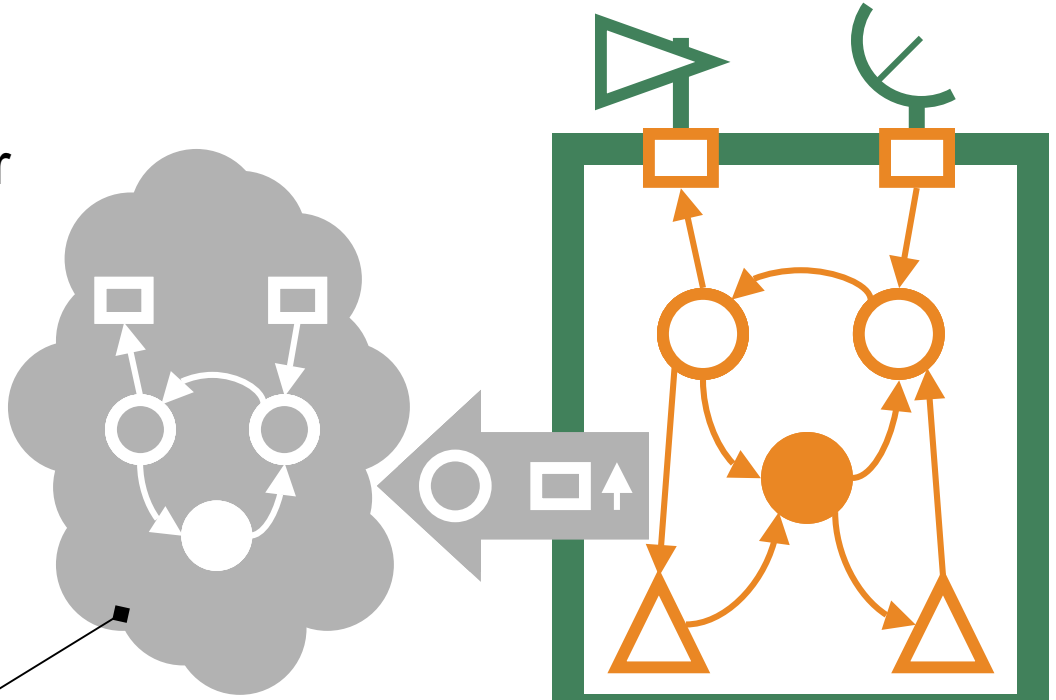
L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.



méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

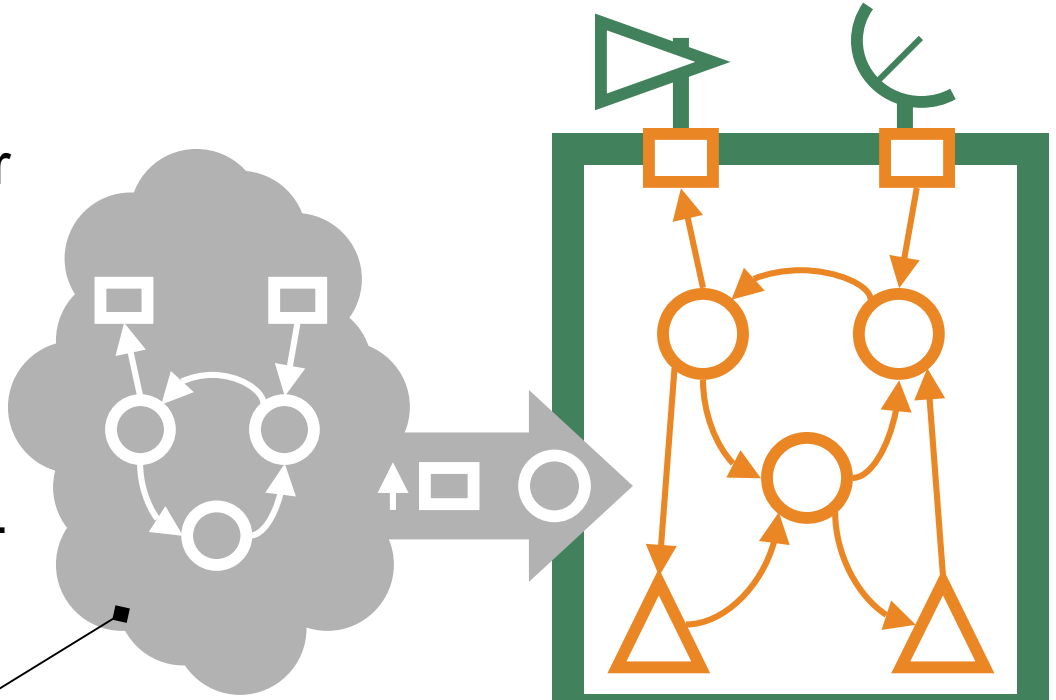


méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.

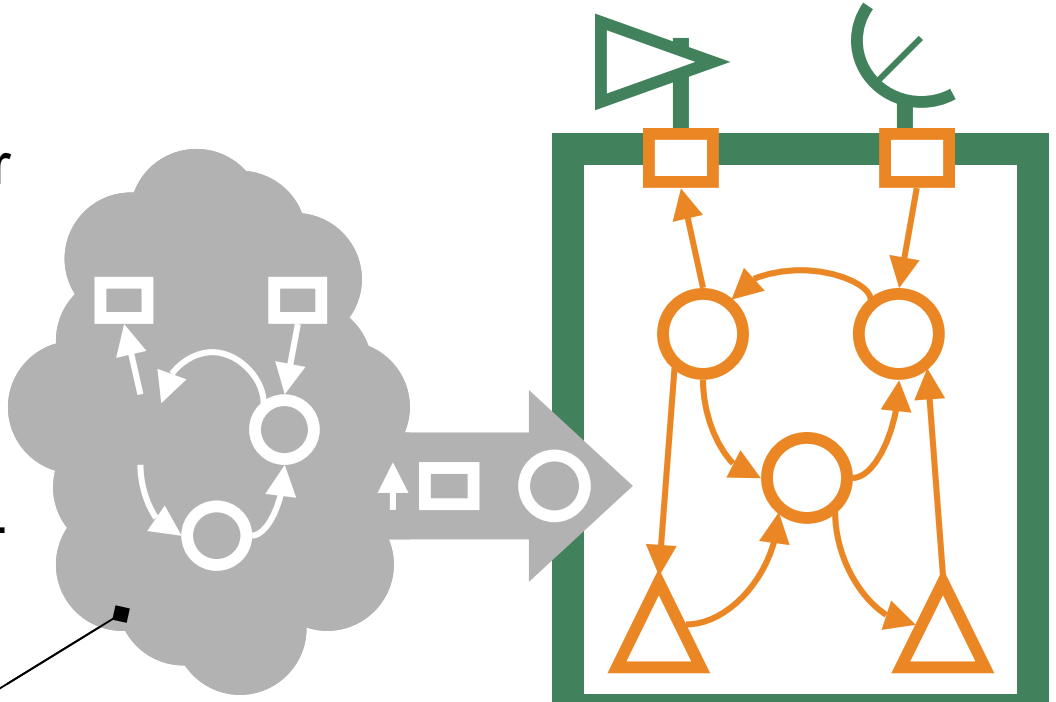


méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.

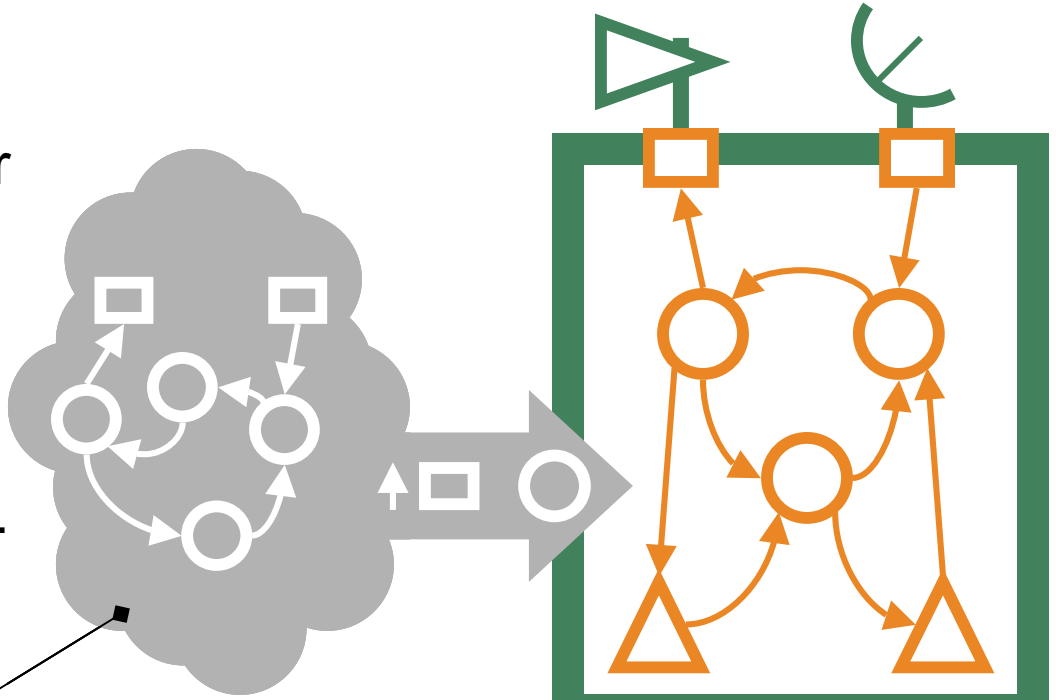


méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.

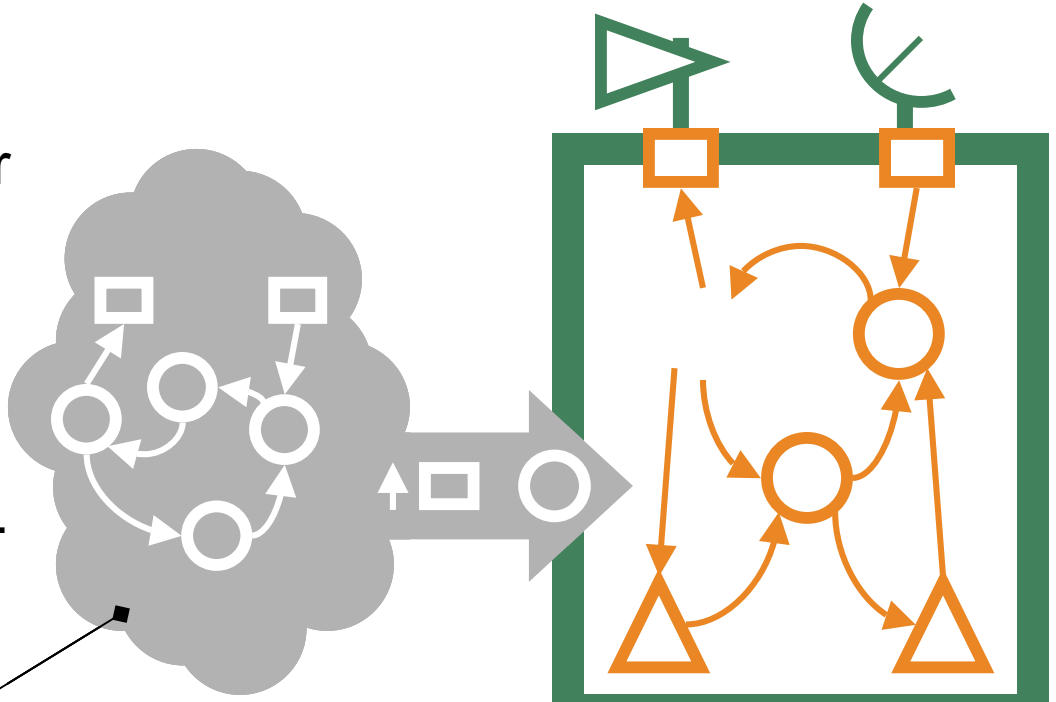


méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.

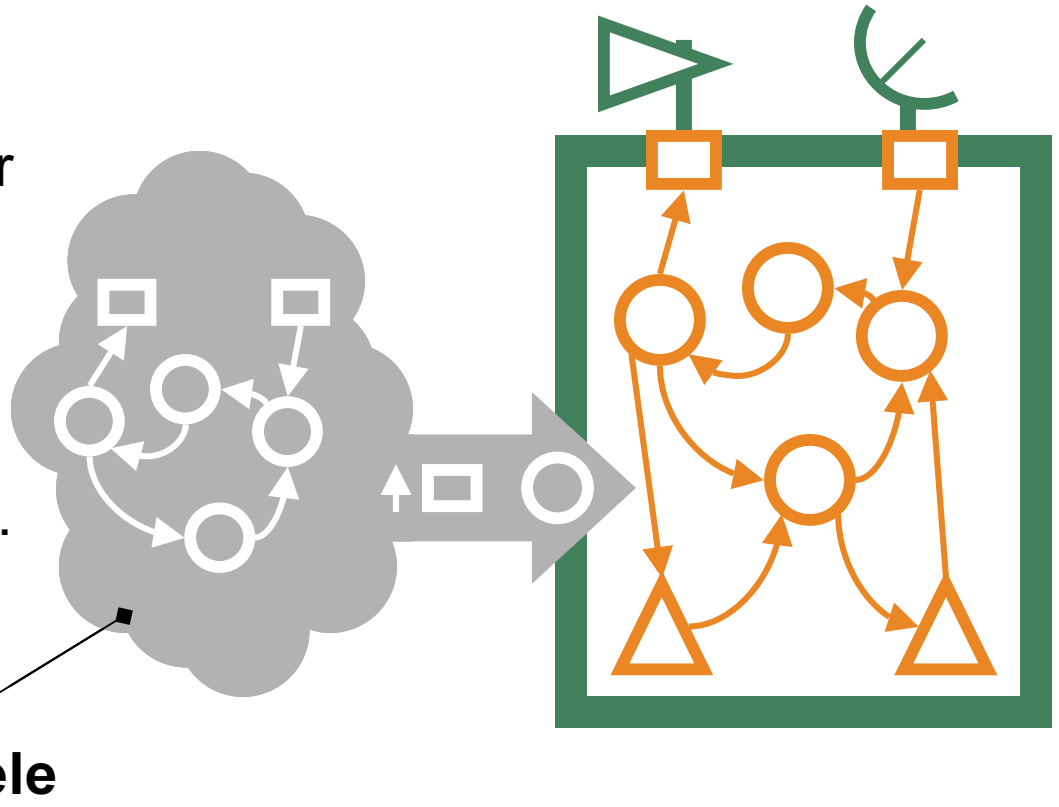


méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.



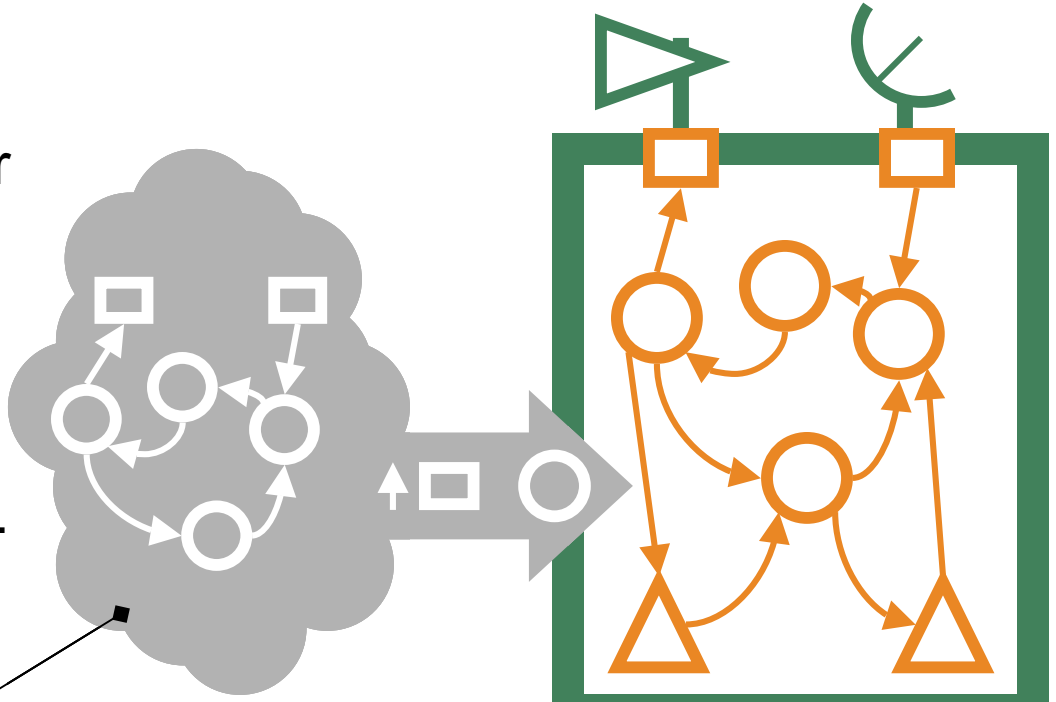
méta-modèle

Qu'est-ce que la réflexivité ?

Par la réflexivité, le **programme** devient un **objet** qui peut être **manipulé.**

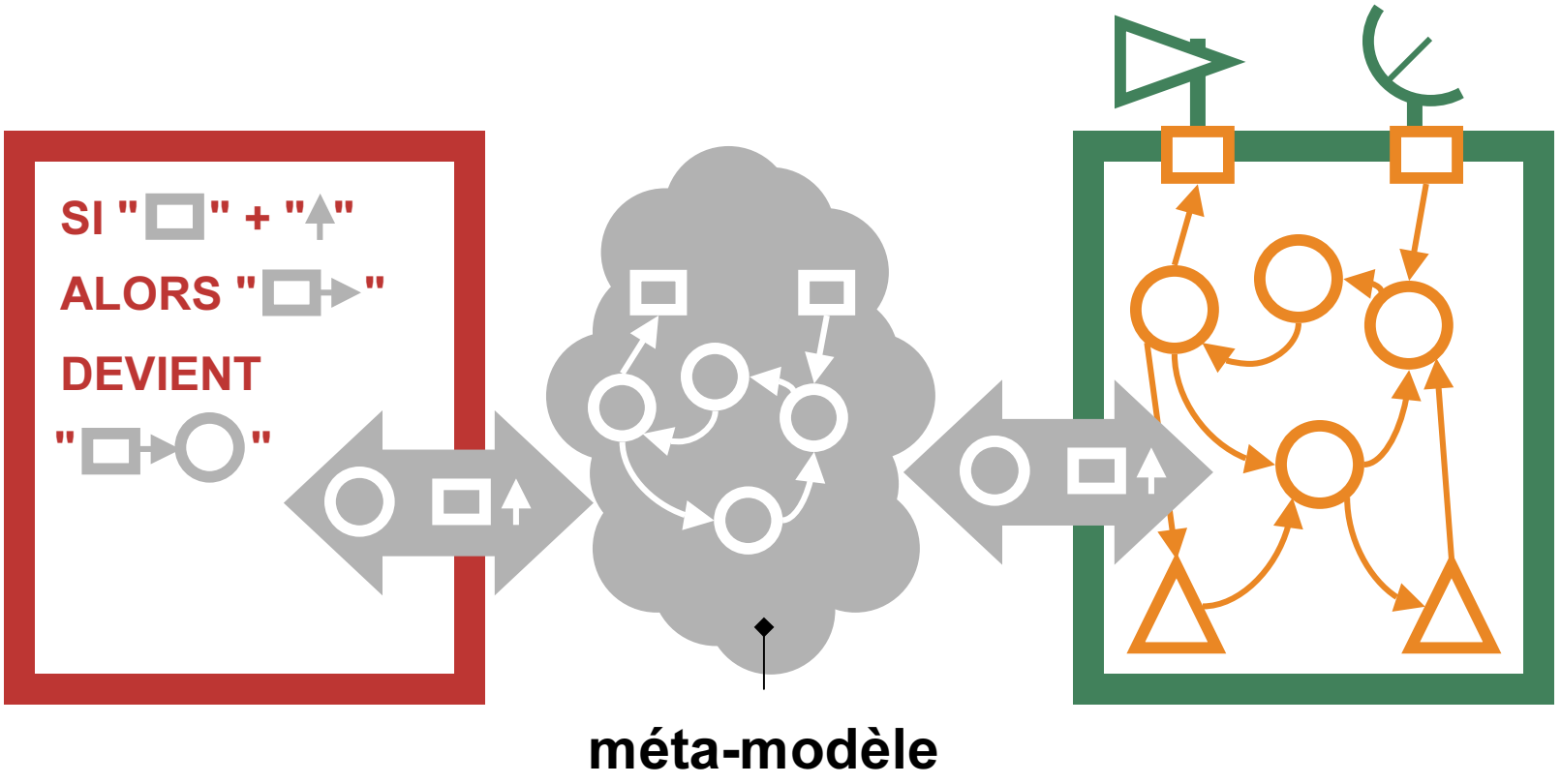
L'activité interne du système se reflète sur le méta-modèle.

Toute manipulation du méta-modèle se reflète sur le système.



méta-modèle

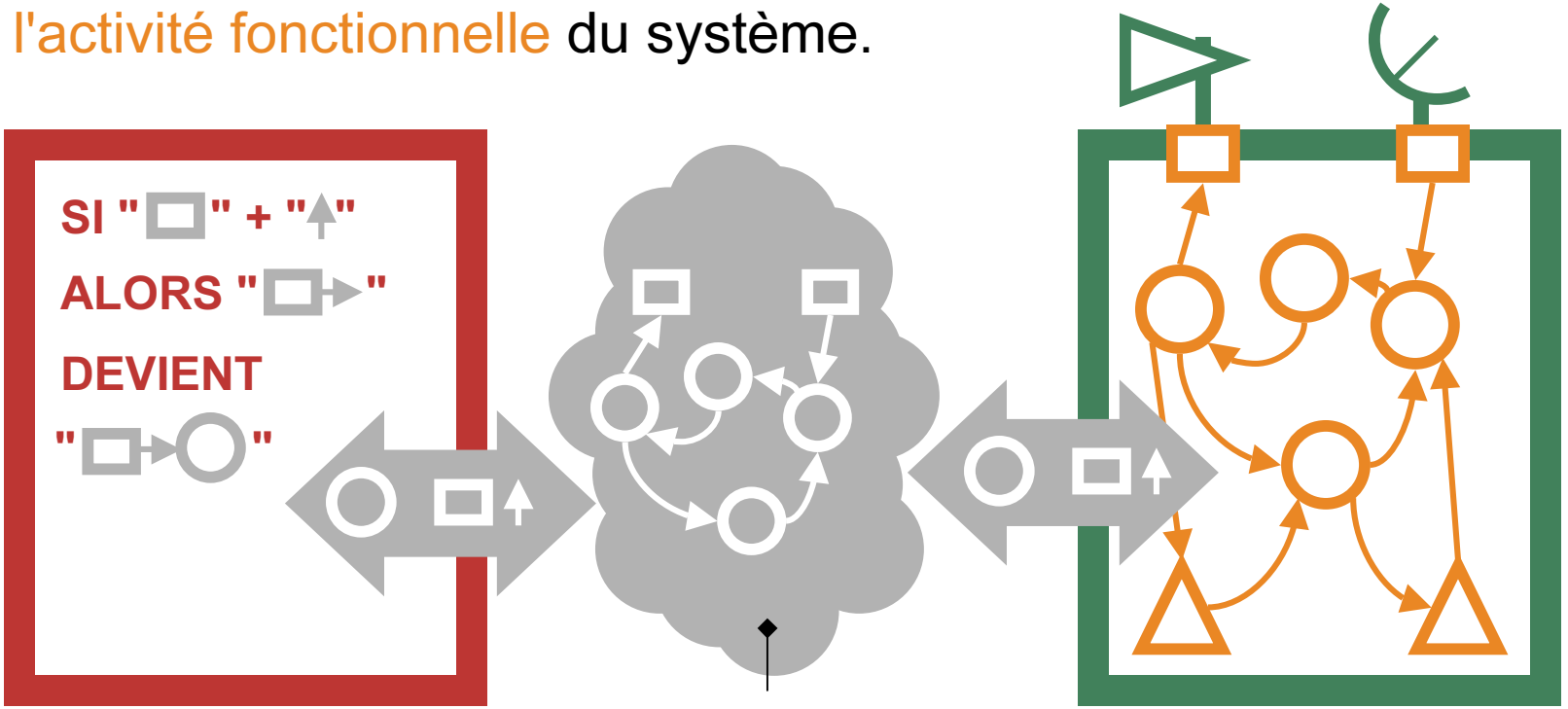
Réflexivité et orthogonalité



méta-modèle

Réflexivité et orthogonalité

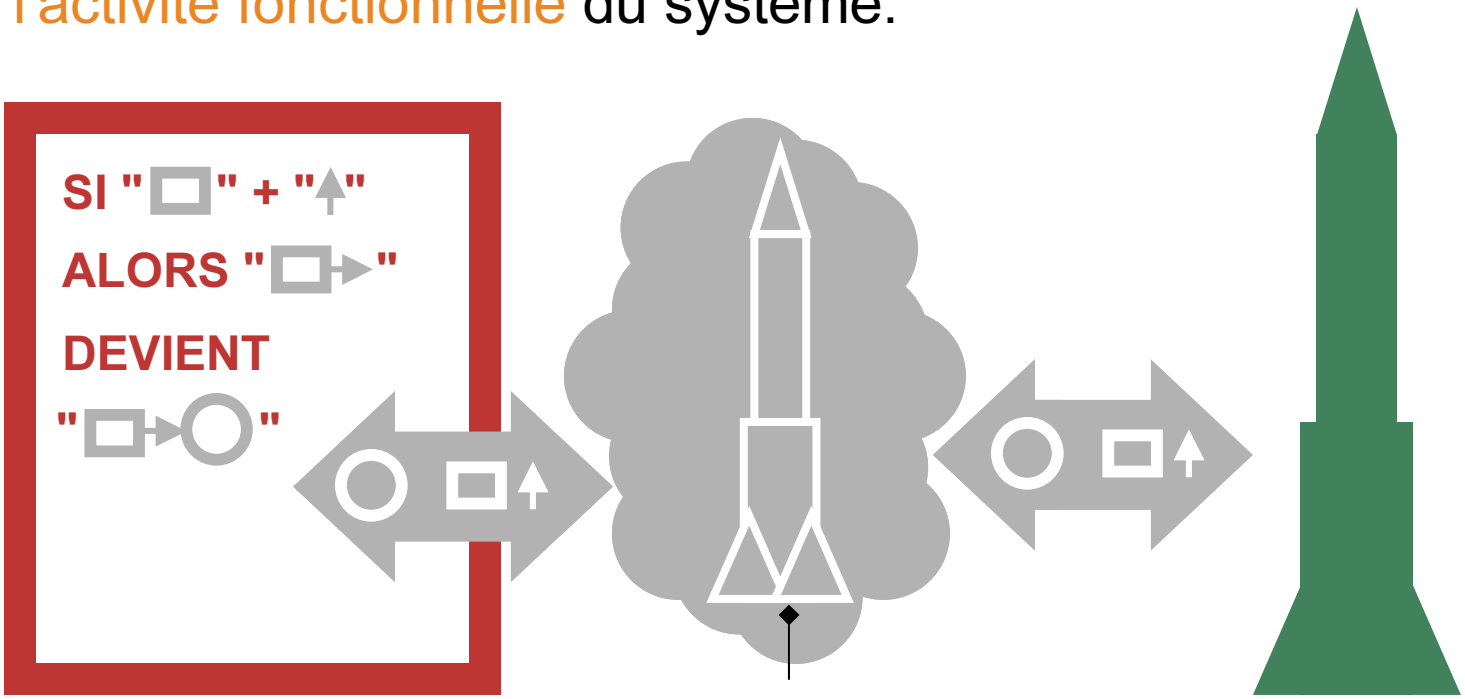
La réflexivité permet de définir des traitements qui manipulent le niveau de base orthogonalement à l'activité fonctionnelle du système.



méta-modèle

Réflexivité et orthogonalité

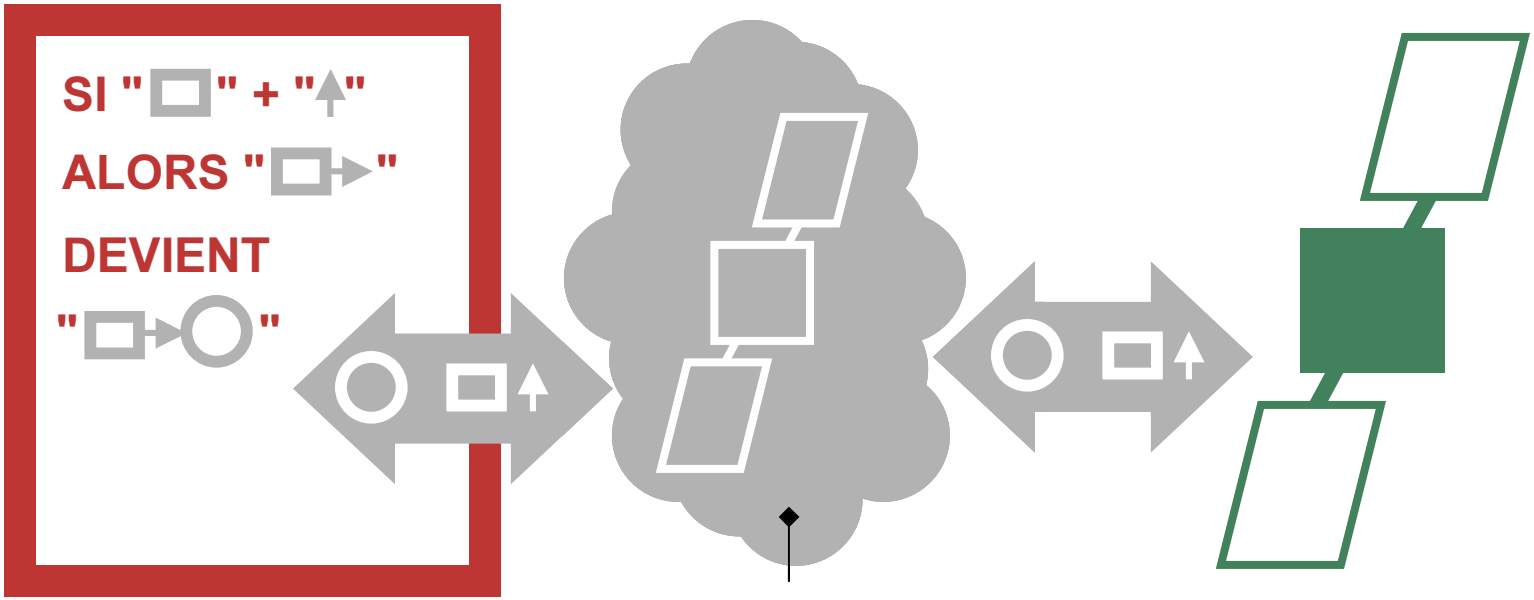
La réflexivité permet de définir des traitements qui manipulent le niveau de base orthogonalement à l'activité fonctionnelle du système.



méta-modèle

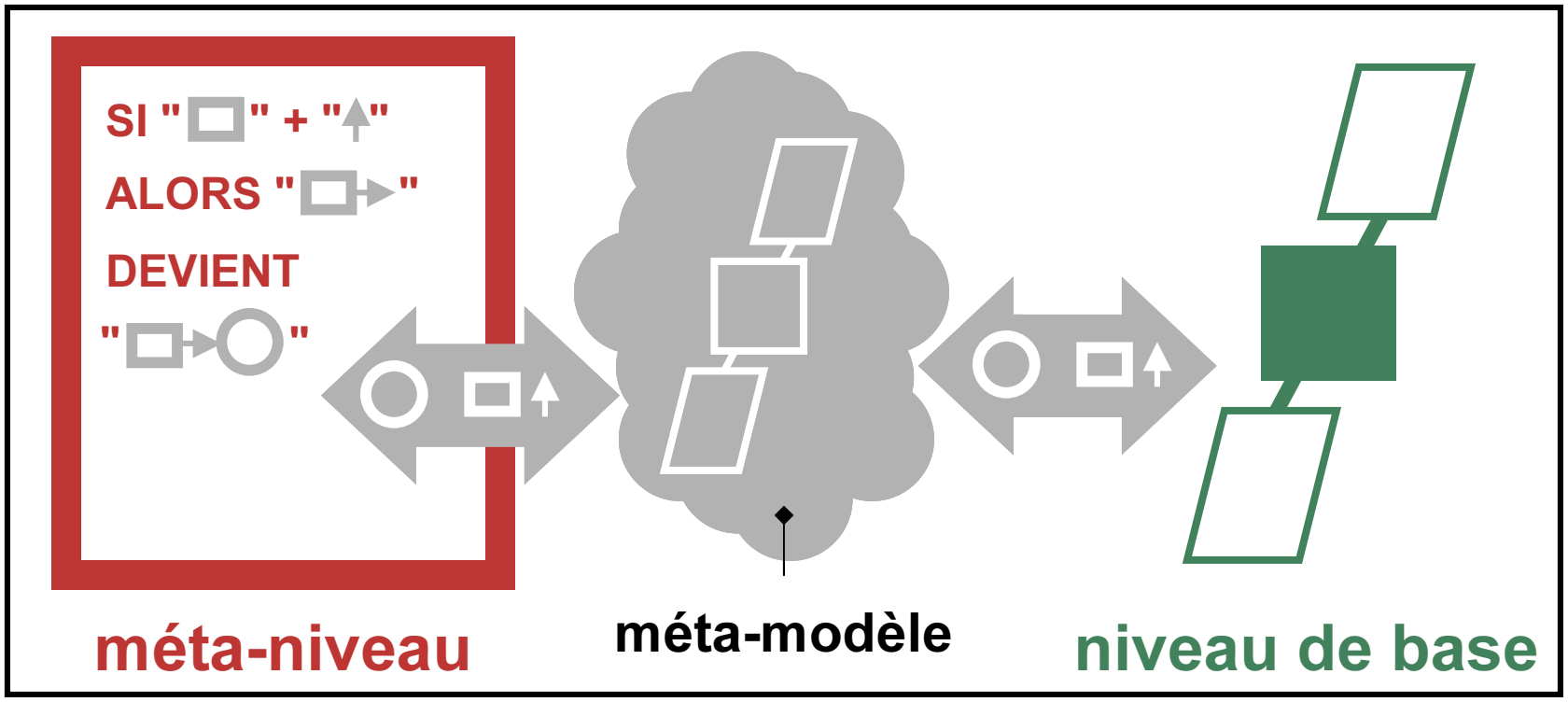
Réflexivité et orthogonalité

La réflexivité permet de définir des traitements qui manipulent le niveau de base orthogonalement à l'activité fonctionnelle du système.



Réflexivité et orthogonalité

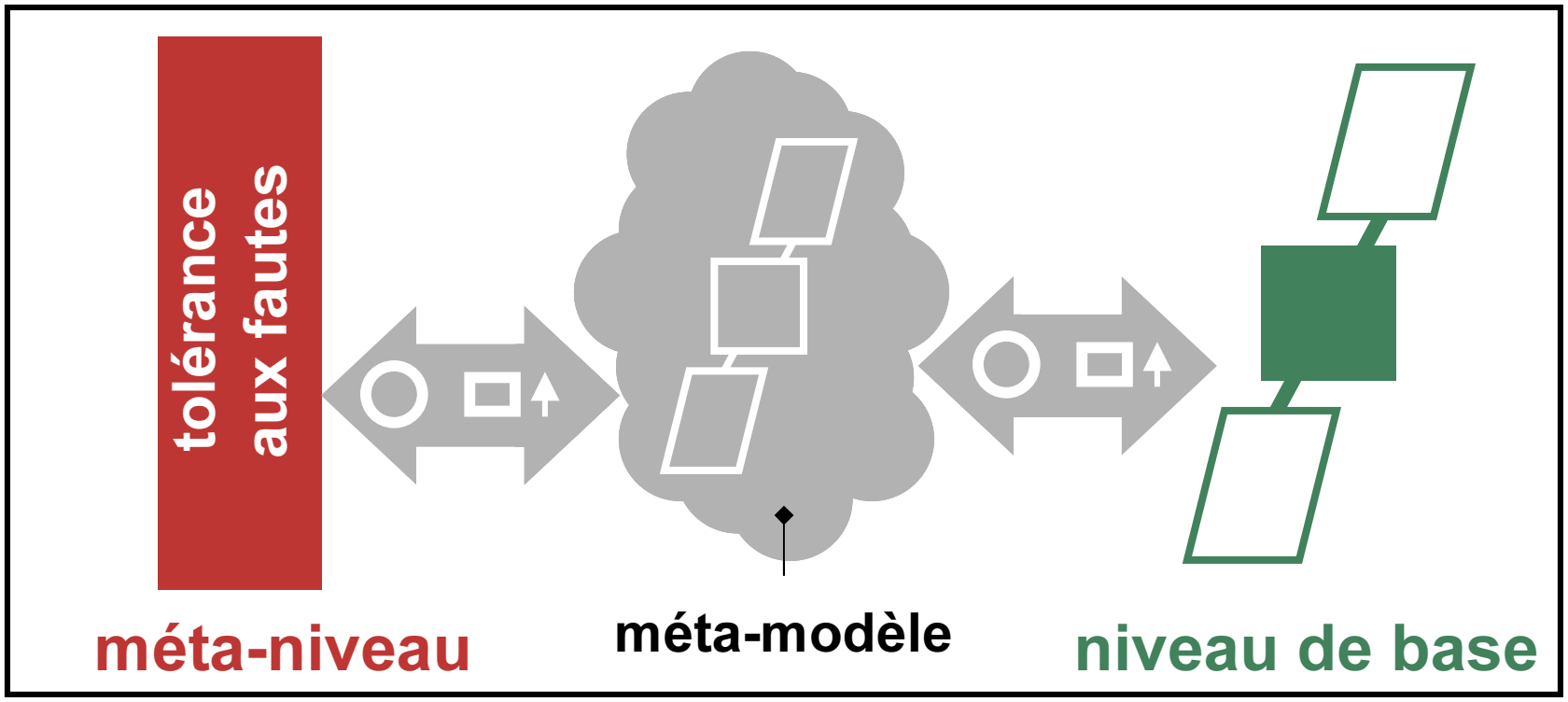
La réflexivité permet de définir des traitements qui manipulent le niveau de base orthogonalement à l'activité fonctionnelle du système.



système réflexif

Réflexivité et orthogonalité

⇨ **La réflexivité permet de rendre la tolérance aux fautes indépendante des fonctionnalités du système.**

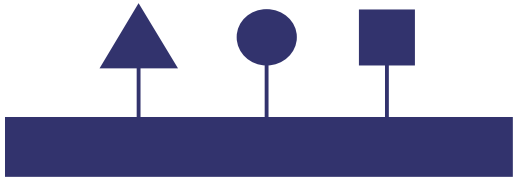


système réflexif

Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

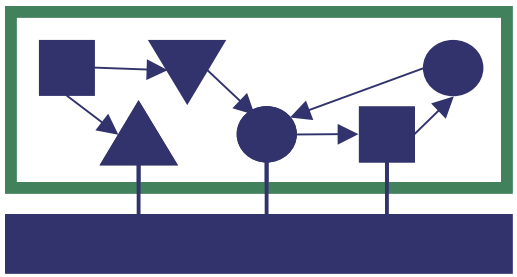
langage machine
(interruptions,
opérations logiques, ...)



Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

langage machine
(interruptions,
opérations logiques, ...)

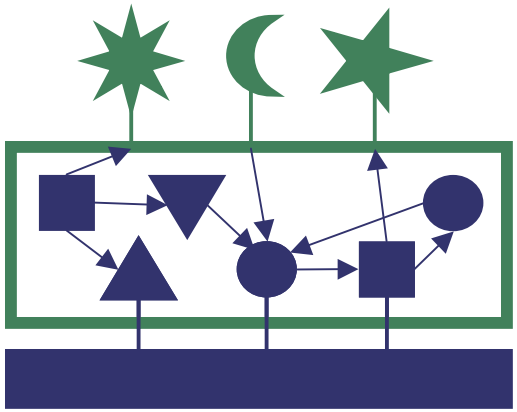


Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

primitives noyau
(synchronisation,
gestion de la mémoire...)

langage machine
(interruptions,
opérations logiques, ...)



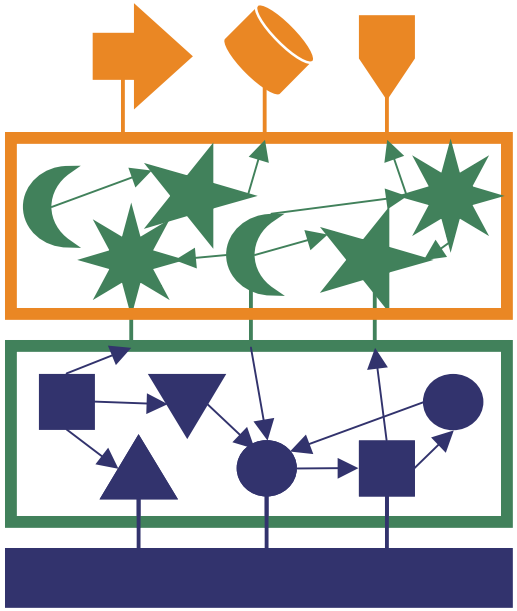
Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

services intergiciels
(appels à distance, etc…)

primitives noyau
(synchronisation,
gestion de la mémoire...)

langage machine
(interruptions,
opérations logiques, ...)



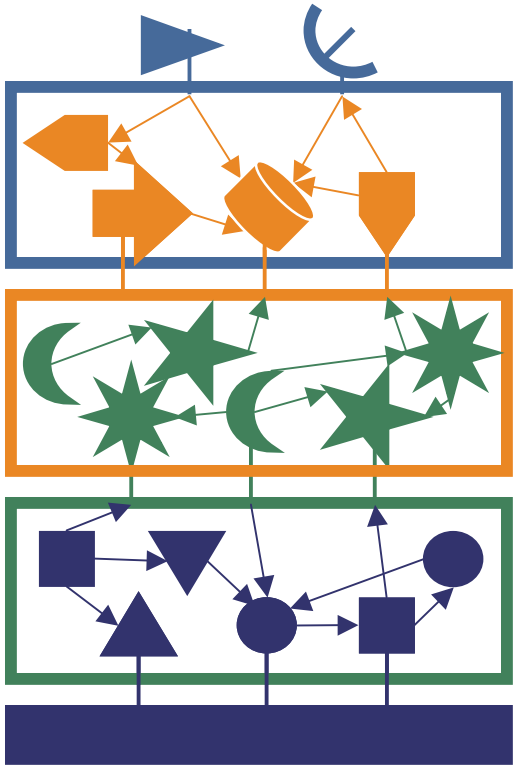
Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

services intergiciels
(appels à distance, etc…)

primitives noyau
(synchronisation,
gestion de la mémoire...)

langage machine
(interruptions,
opérations logiques, ...)

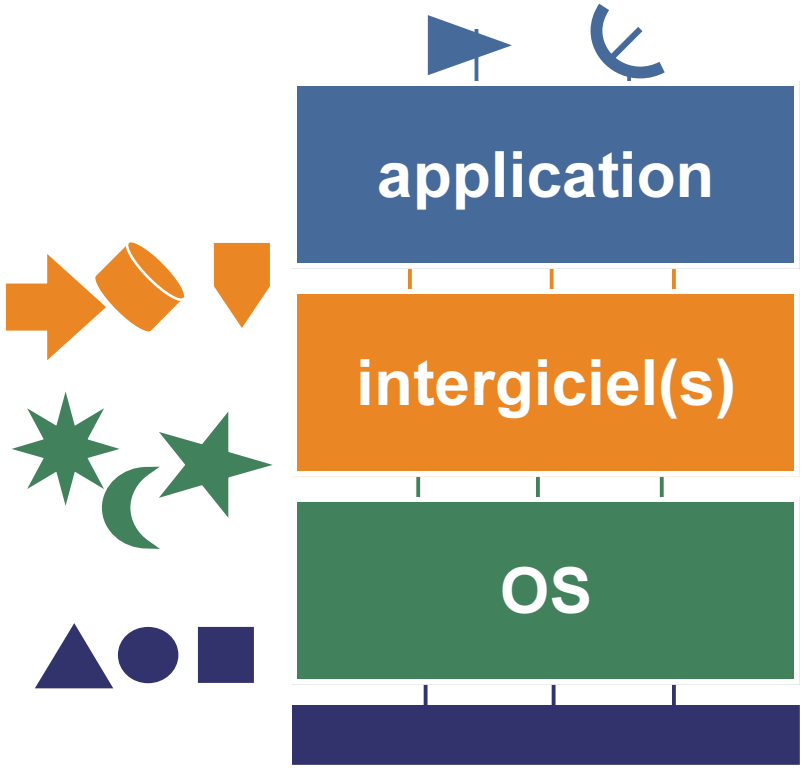


Architecture multi-niveaux

- Réaliser une architecture réflexive requiert de savoir où trouver quelles informations dans le système.

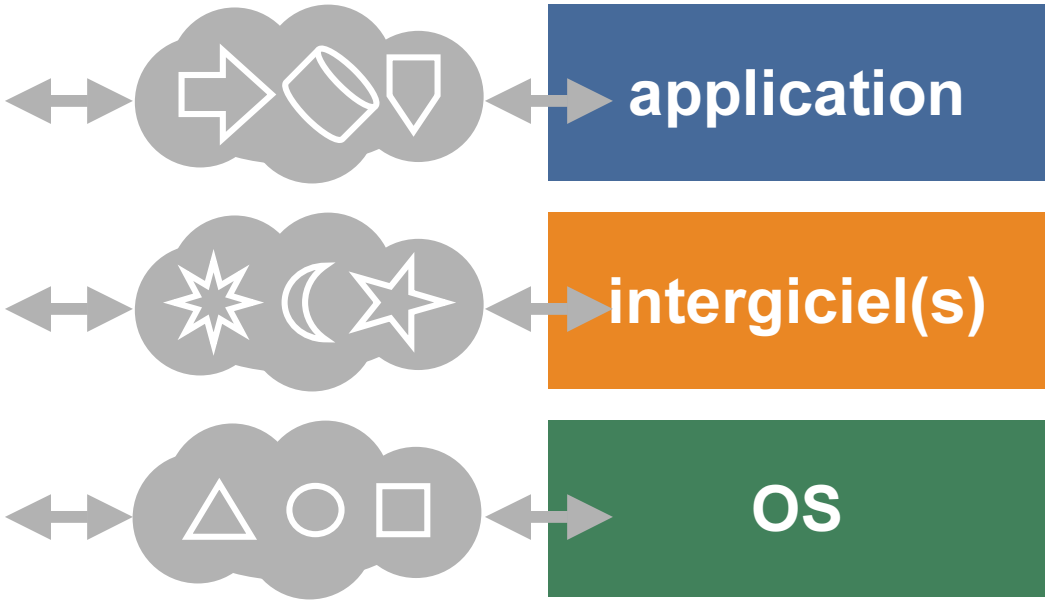
- Systèmes complexes : plusieurs niveaux hétérogènes

- Les activités des différents niveaux sont liées entre elle, mais ce «couplage» est caché.



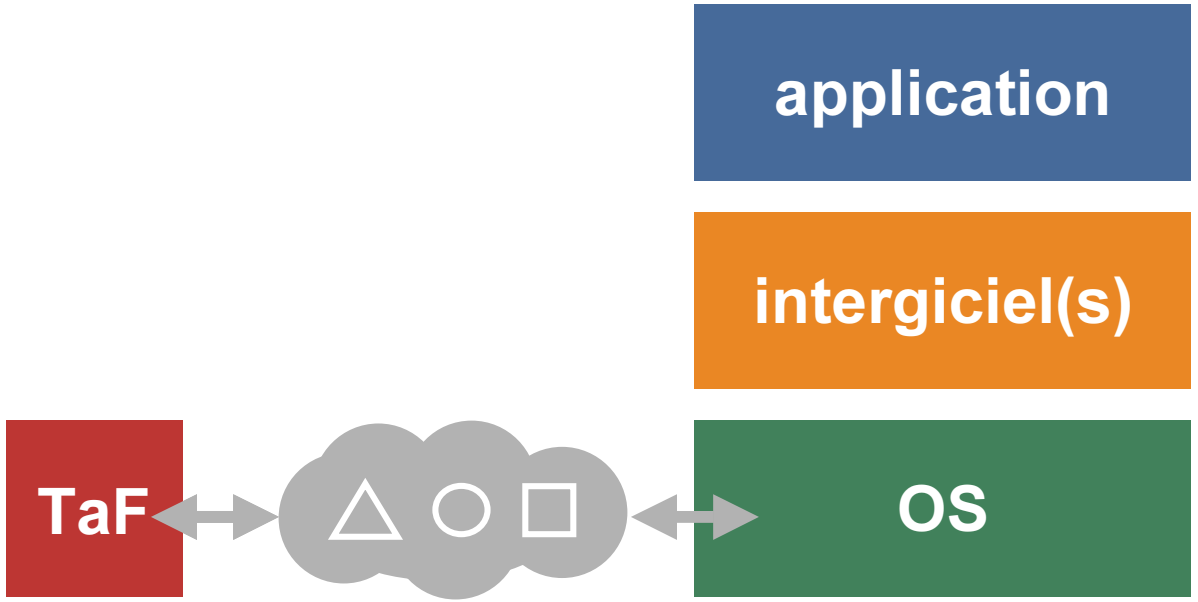
Réflexivité et Tolérance aux Fautes

- Dans les systèmes complexes :
  - ➔ Chaque composant a sont propre modèle de programmation.
  - ➔ Les méta-modèles obtenus sont hétérogènes + incompatibles.



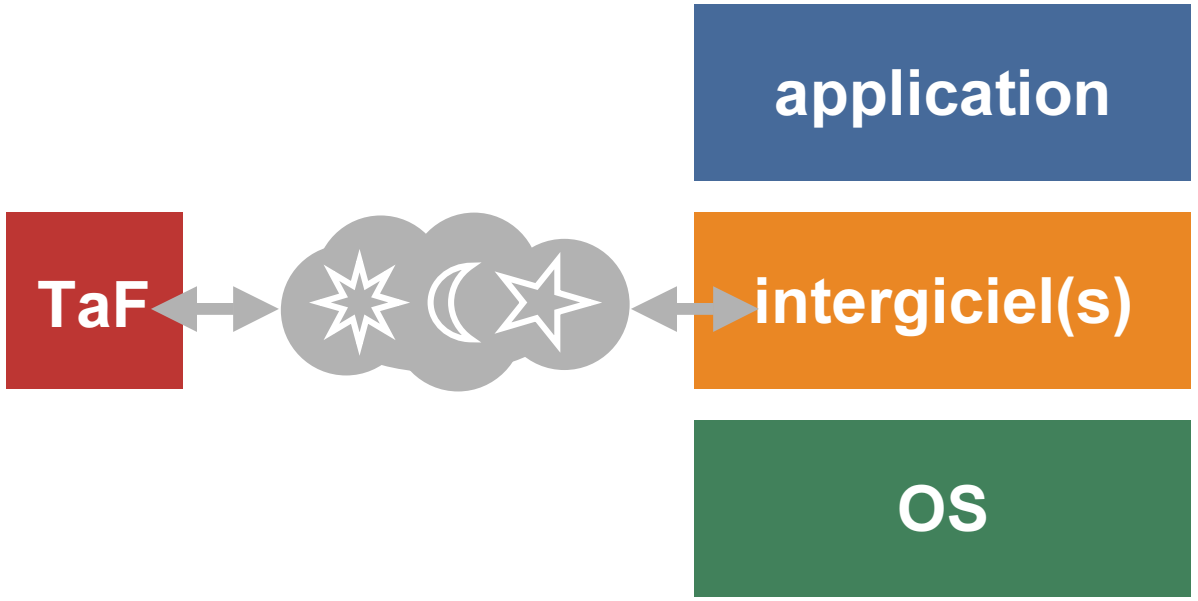
Réflexivité et Tolérance aux Fautes

- Jusqu'à maintenant, dans les systèmes complexes :
  - ➔ Un seul niveau d'abstraction était pris en compte.
  - ➔ La tolérance aux fautes réalisable était limitée.



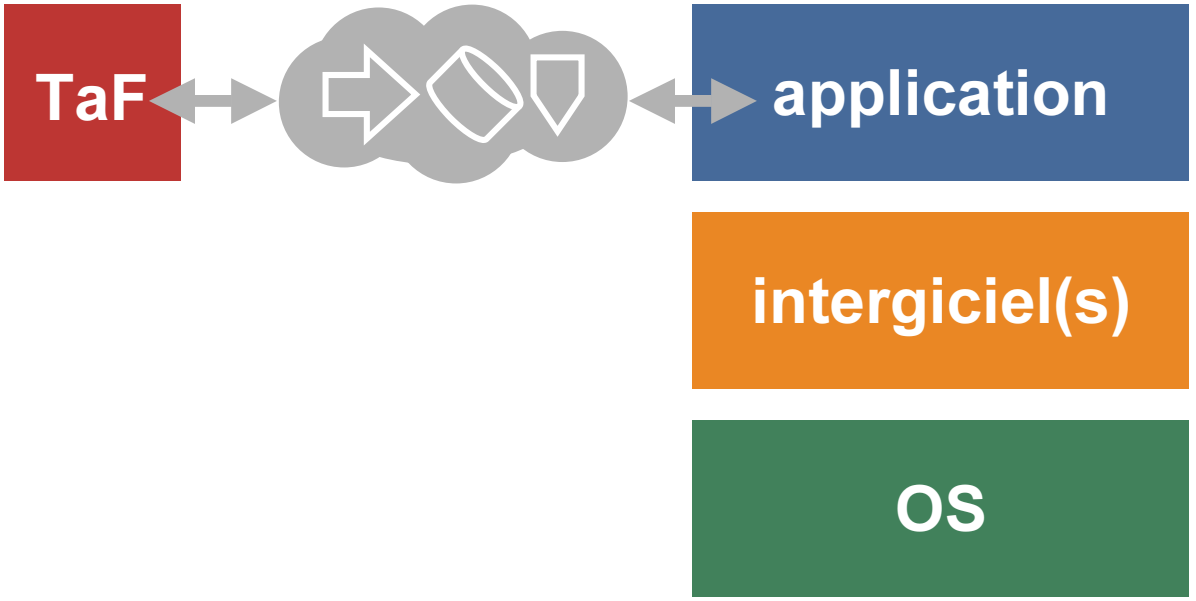
Réflexivité et Tolérance aux Fautes

- Jusqu'à maintenant, dans les systèmes complexes :
  - ➔ Un seul niveau d'abstraction était pris en compte.
  - ➔ La tolérance aux fautes réalisable était limitée.



Réflexivité et Tolérance aux Fautes

- Jusqu'à maintenant, dans les systèmes complexes :
  - ➔ Un seul niveau d'abstraction était pris en compte.
  - ➔ La tolérance aux fautes réalisable était limitée.



Reformulation de la problématique

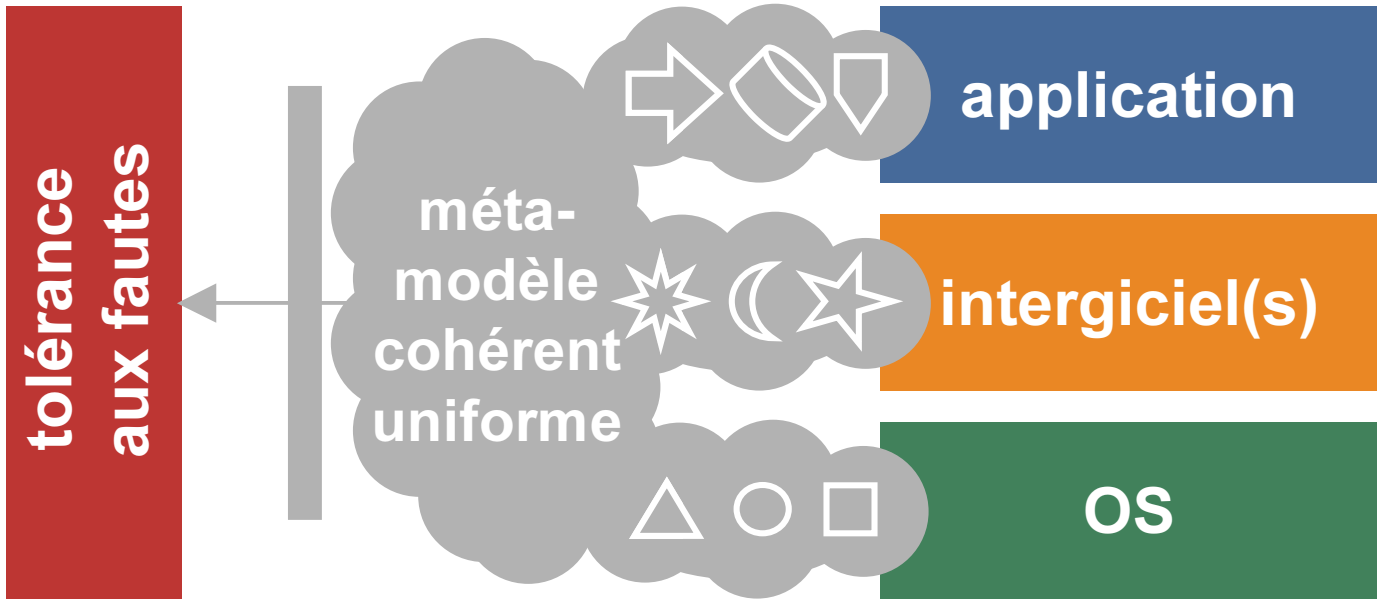
- Notre objectif :

  Une tolérance aux fautes qui prenne en compte le système dans son intégralité

Reformulation de la problématique

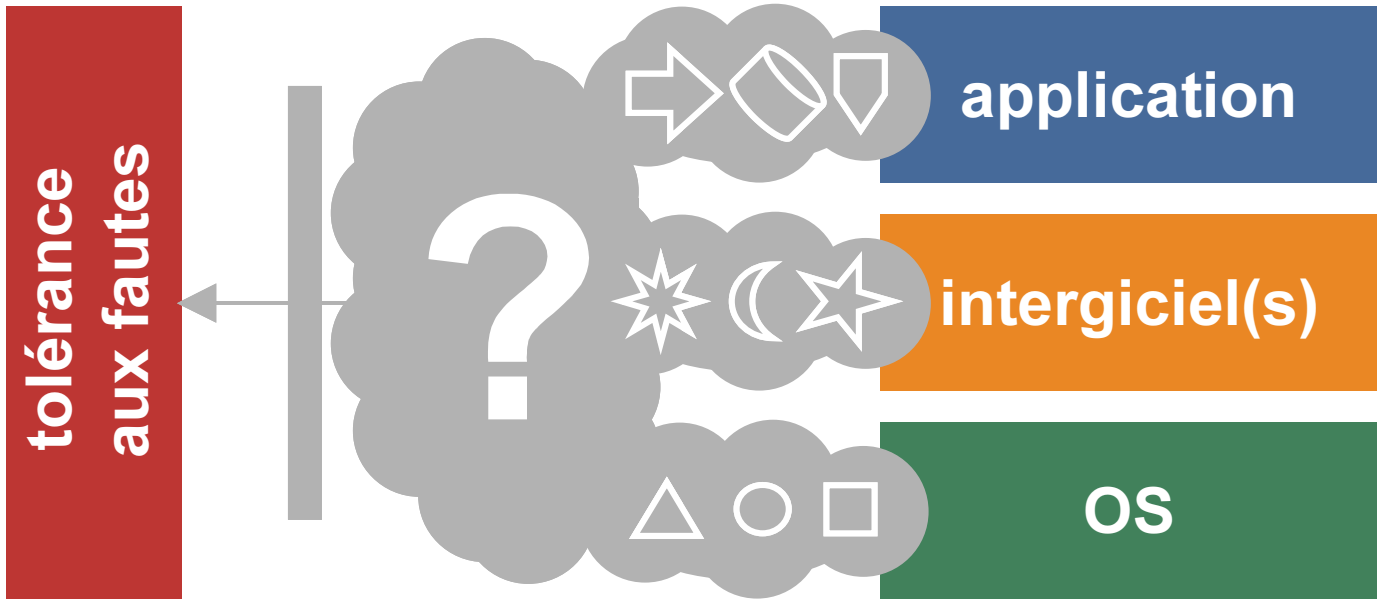
- Notre objectif :

  Une tolérance aux fautes qui prenne en compte le système dans son intégralité



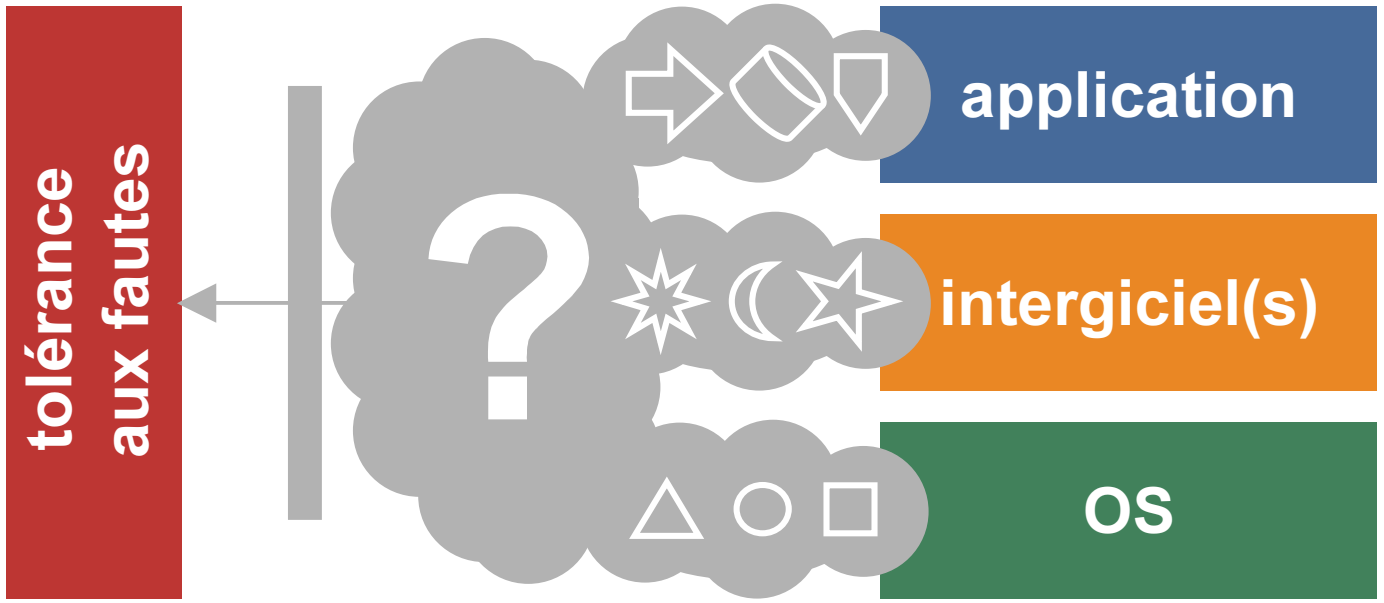
Reformulation de la problématique

⇨ **Comment construire un méta-modèle cohérent et uniforme offrant une vue globale d'un système complexe ?**



Reformulation de la problématique

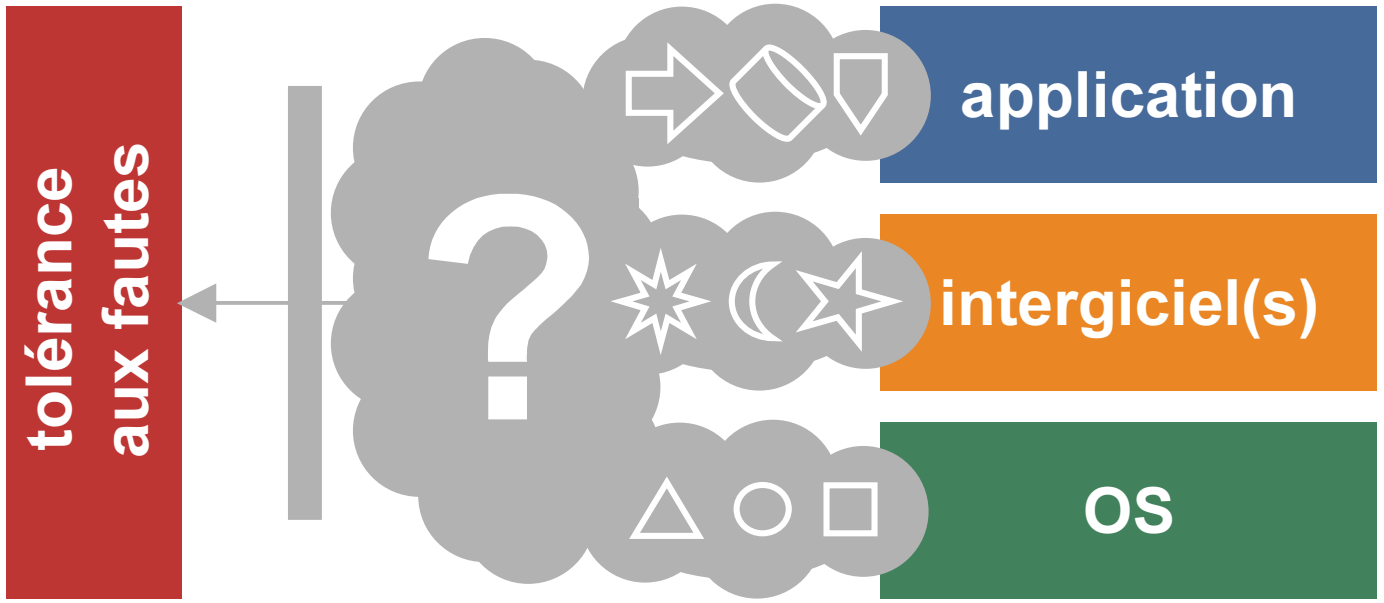
Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?



Reformulation de la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

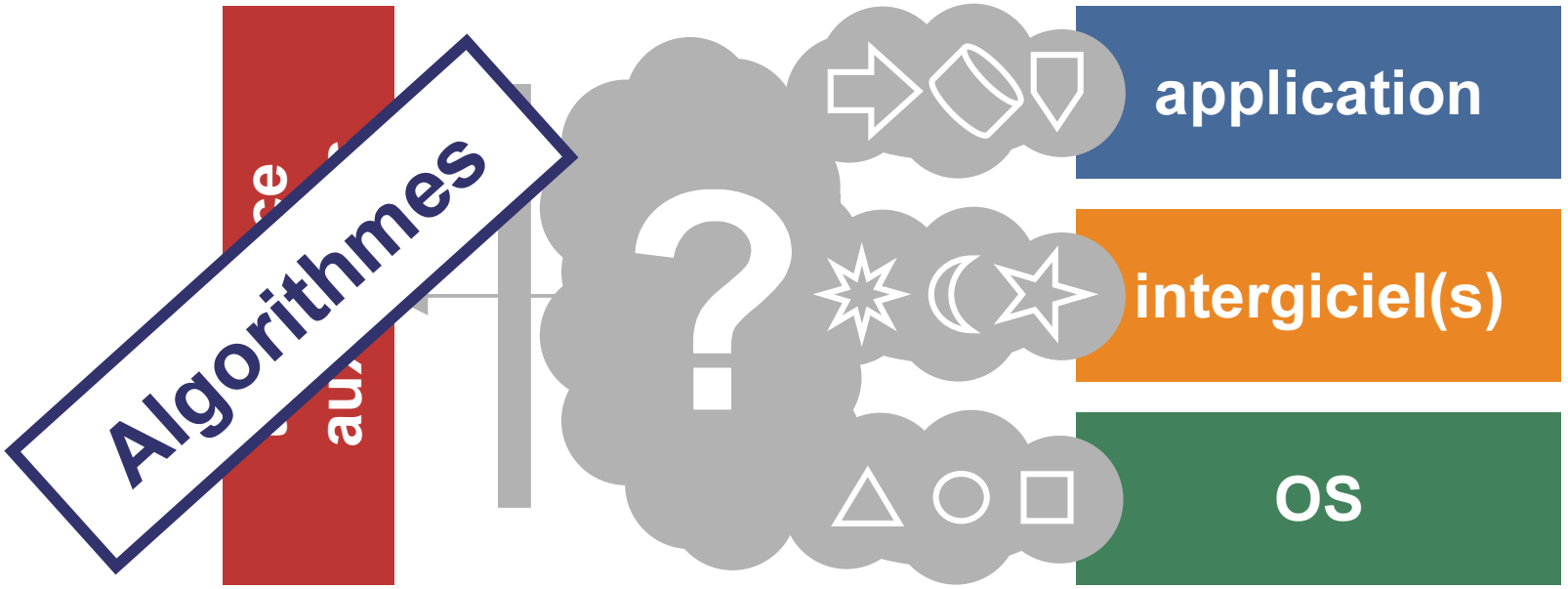
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Reformulation de la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

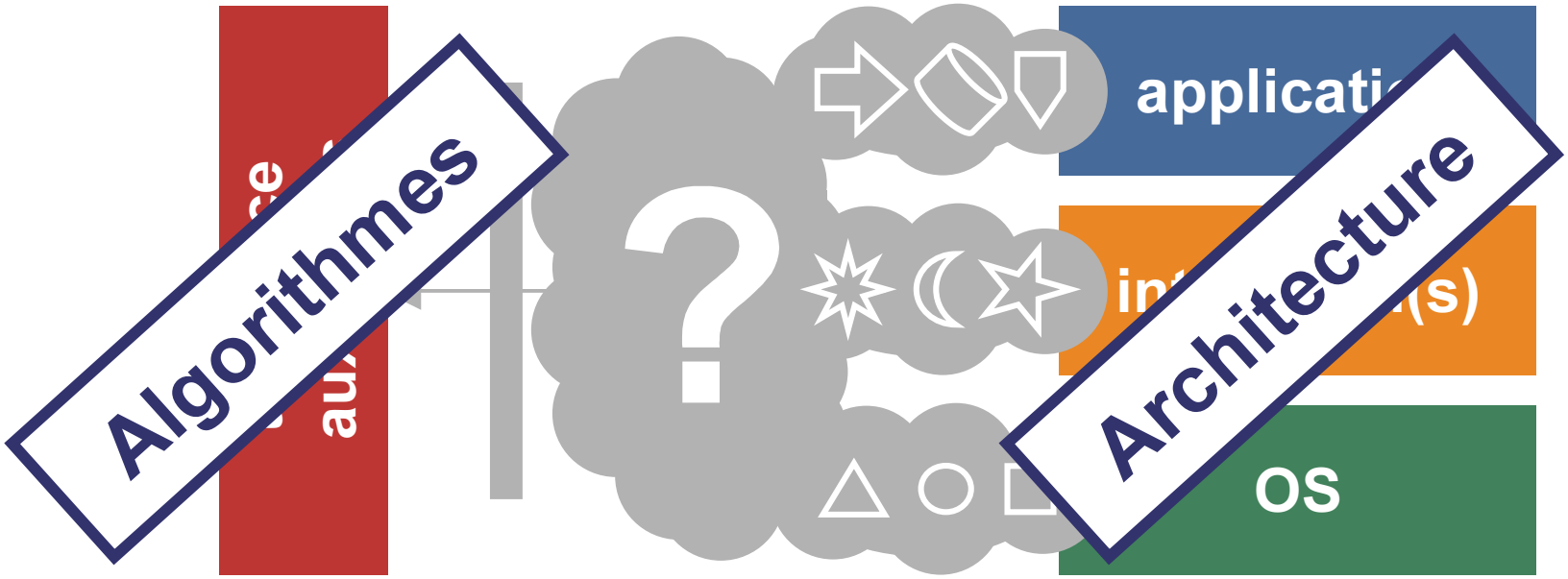
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Reformulation de la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

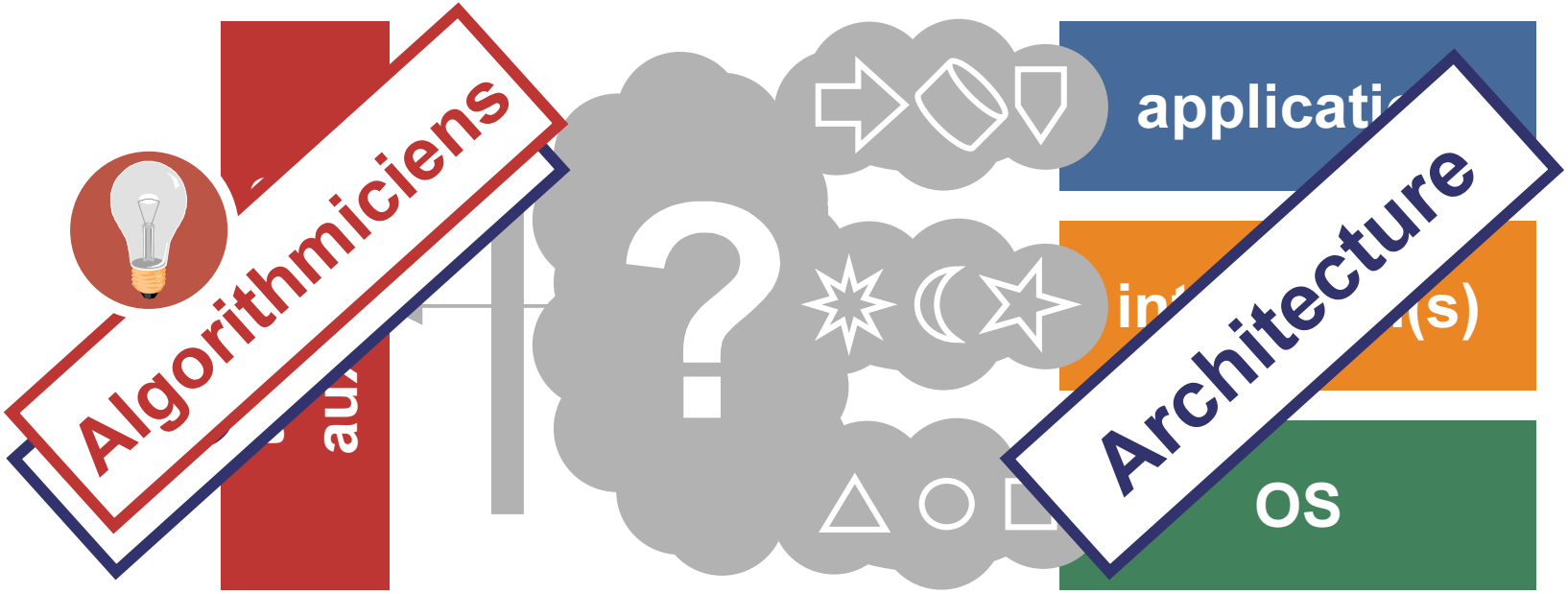
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Reformulation de la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

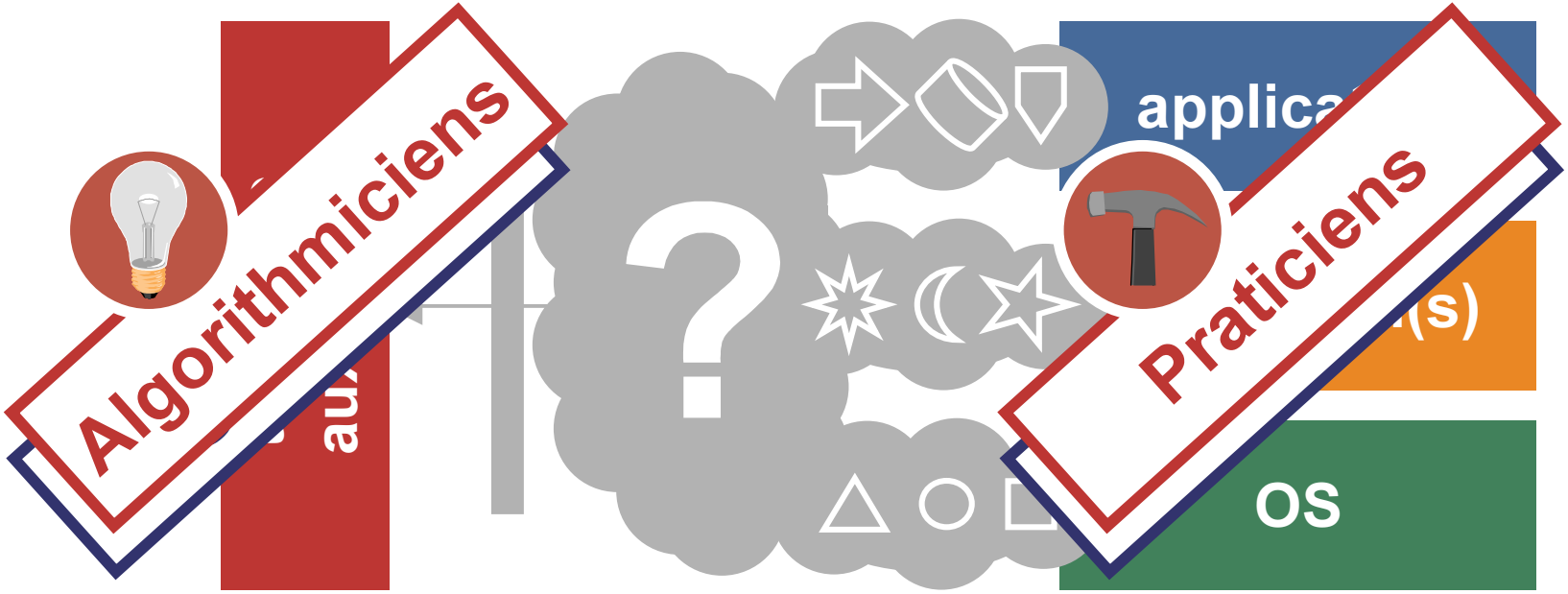
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Reformulation de la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Plan

- **(A)** Qu'est-ce-que la réflexivité ?
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes
- **(D)** Application à un exemple concret :
  Réplication multi-traitement d'une plate-forme CORBA / Linux

Besoins opératoires & performances

Besoins opératoires & performances

- Un algorithme de tolérance aux fautes générique :
  - ➔ Utilise un modèle de calcul de haute abstraction ;
    - Ex. : machines à états, processus, messages asynchrones
  - ➔ Observe et agit sur ce modèle de calcul.
    - Ex. : interception des messages, restauration de l'état d'un processus
  - ➔ Notions de capacités d'action et d'observation

Besoins opératoires & performances

- Un algorithme de tolérance aux fautes générique :
  - ➔ Utilise un modèle de calcul de haute abstraction ;
    - Ex. : machines à états, processus, messages asynchrones
  - ➔ Observe et agit sur ce modèle de calcul.
    - Ex. : interception des messages, restauration de l'état d'un processus
  - ➔ Notions de capacités d'action et d'observation
- Les capacités d'observation peuvent être imparfaites.
  - ➔ Mais trop d'approximation rend les performances inacceptables.
  - ➔ Dans un système complexe : la précision est difficile à obtenir dans une seule couche.

Besoins opératoires & performances

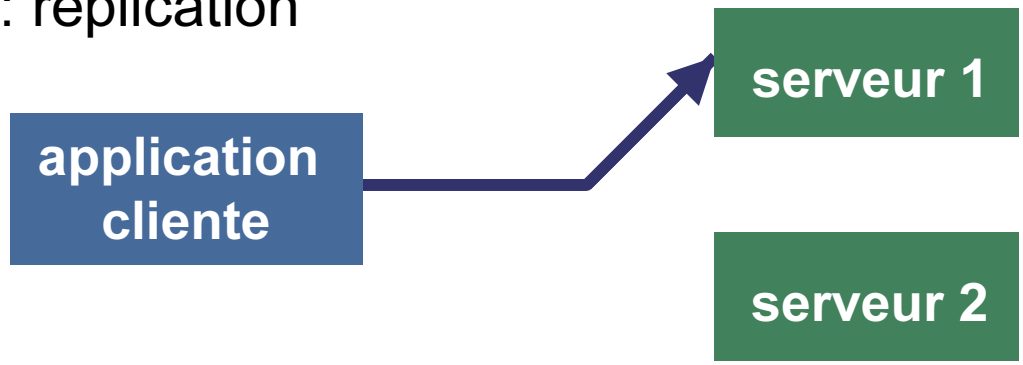
- Un algorithme de tolérance aux fautes générique :
  - ➔ Utilise un modèle de calcul de haute abstraction ;
    - Ex. : machines à états, processus, messages asynchrones
  - ➔ Observe et agit sur ce modèle de calcul.
    - Ex. : interception des messages, restauration de l'état d'un processus
  - ➔ Notions de capacités d'action et d'observation
- Les capacités d'observation peuvent être imparfaites.
  - ➔ Mais trop d'approximation rend les performances inacceptables.
  - ➔ Dans un système complexe : la précision est difficile à obtenir dans une seule couche.
- **La qualité des capacités d'action et d'observation d'un algorithme doit être maîtrisée.**

Mieux maîtriser les besoins de la TaF

- Notre proposition : expliciter les besoins en définissant l'empreinte réflexive d'une famille d'algorithmes
  - ➔ Ensemble des capacités réflexives requises par la famille
  - ➔ Découple cœur algorithmique / besoins opératoires concrets
  - ➔ Indépendante de toute architecture concrète
- Exemple : réplication

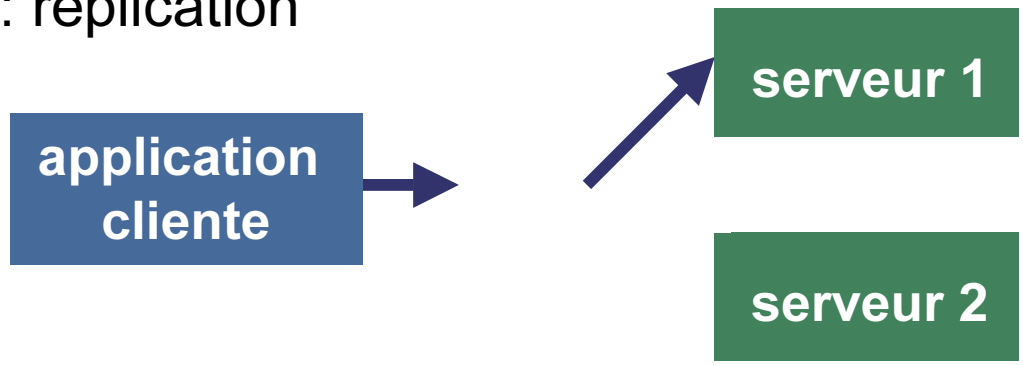
Mieux maîtriser les besoins de la TaF

- Notre proposition : expliciter les besoins en définissant l'empreinte réflexive d'une famille d'algorithmes
  - ➔ Ensemble des capacités réflexives requises par la famille
  - ➔ Découple cœur algorithmique / besoins opératoires concrets
  - ➔ Indépendante de toute architecture concrète
- Exemple : réplication



Mieux maîtriser les besoins de la TaF

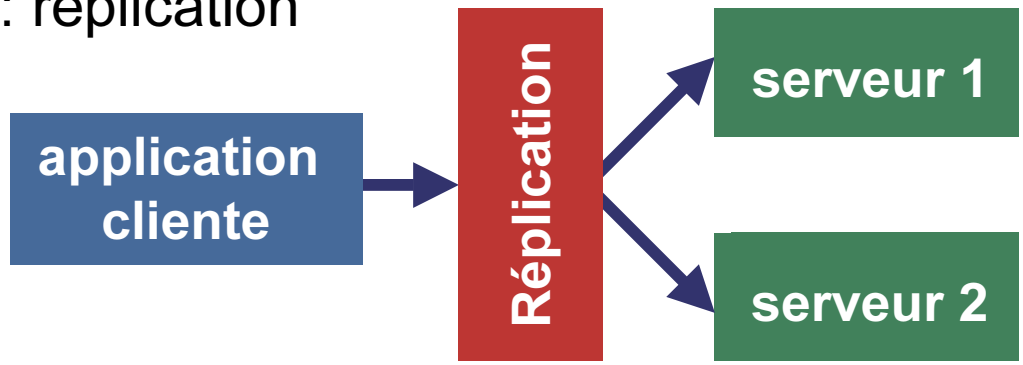
- Notre proposition : expliciter les besoins en définissant l'empreinte réflexive d'une famille d'algorithmes
  - ➔ Ensemble des capacités réflexives requises par la famille
  - ➔ Découple cœur algorithmique / besoins opératoires concrets
  - ➔ Indépendante de toute architecture concrète
- Exemple : réplication



Mieux maîtriser les besoins de la TaF

- Notre proposition : expliciter les besoins en définissant l'empreinte réflexive d'une famille d'algorithmes
  - ➔ Ensemble des capacités réflexives requises par la famille
  - ➔ Découple cœur algorithmique / besoins opératoires concrets
  - ➔ Indépendante de toute architecture concrète

- Exemple : réplication



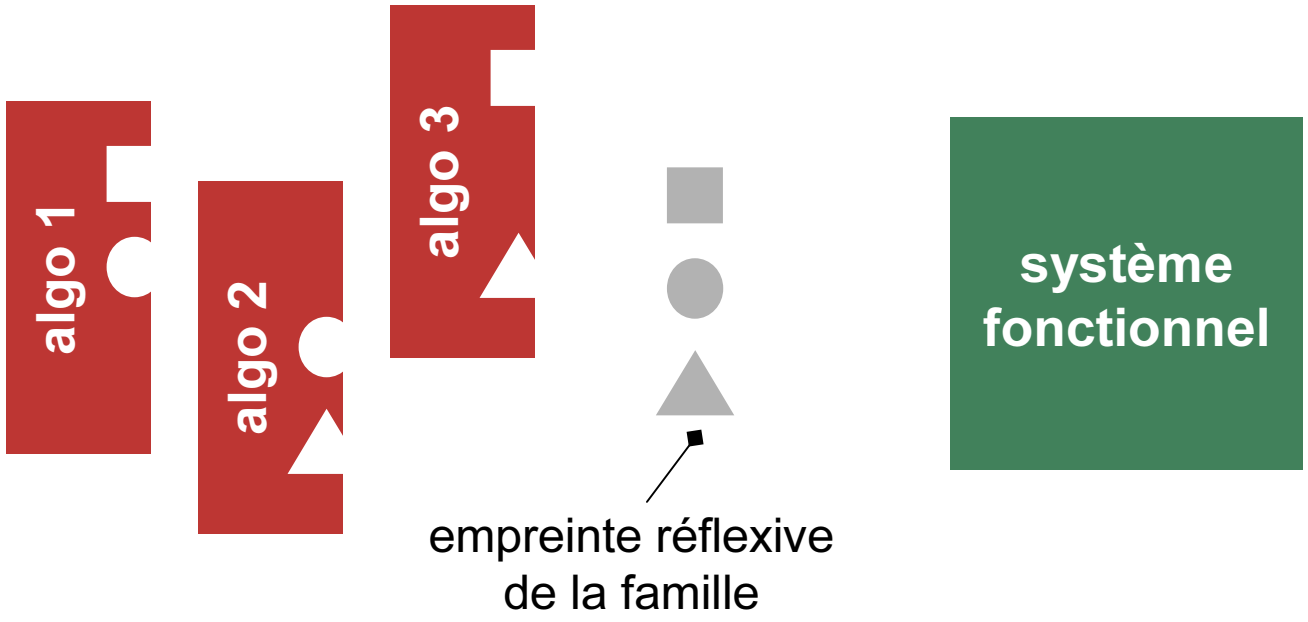
  - ➔ empreinte réflexive : a) interception des messages vers serveurs
    b) transfert d'état
    c) gestion du non déterminisme … etc.

Empreintes réflexives & adaptabilité

- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.

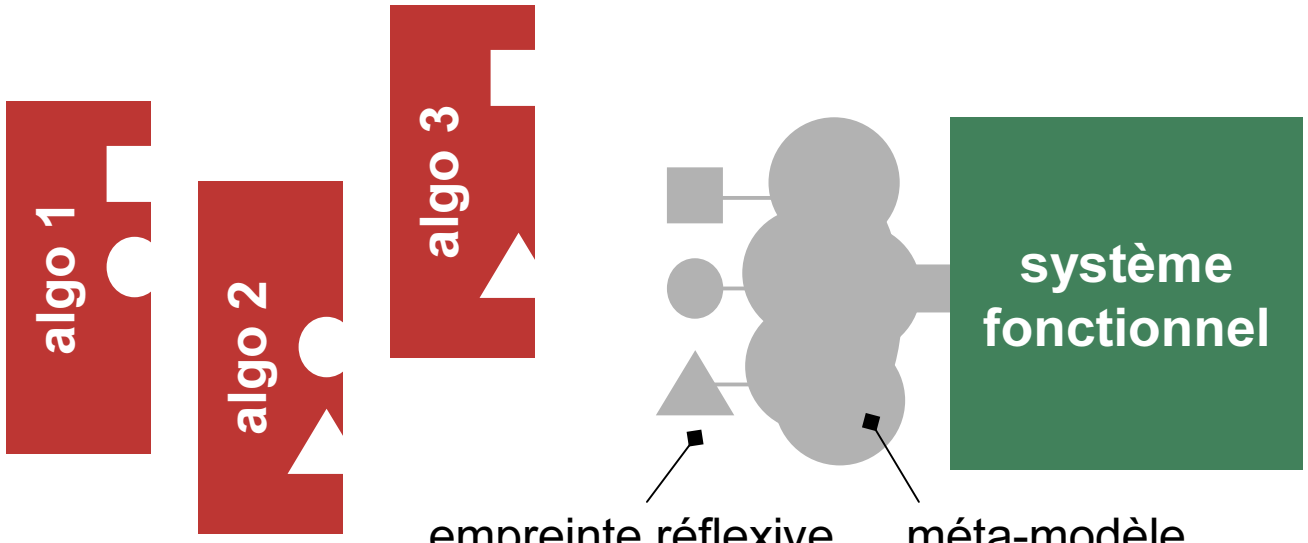
Empreintes réflexives & adaptabilité

- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.



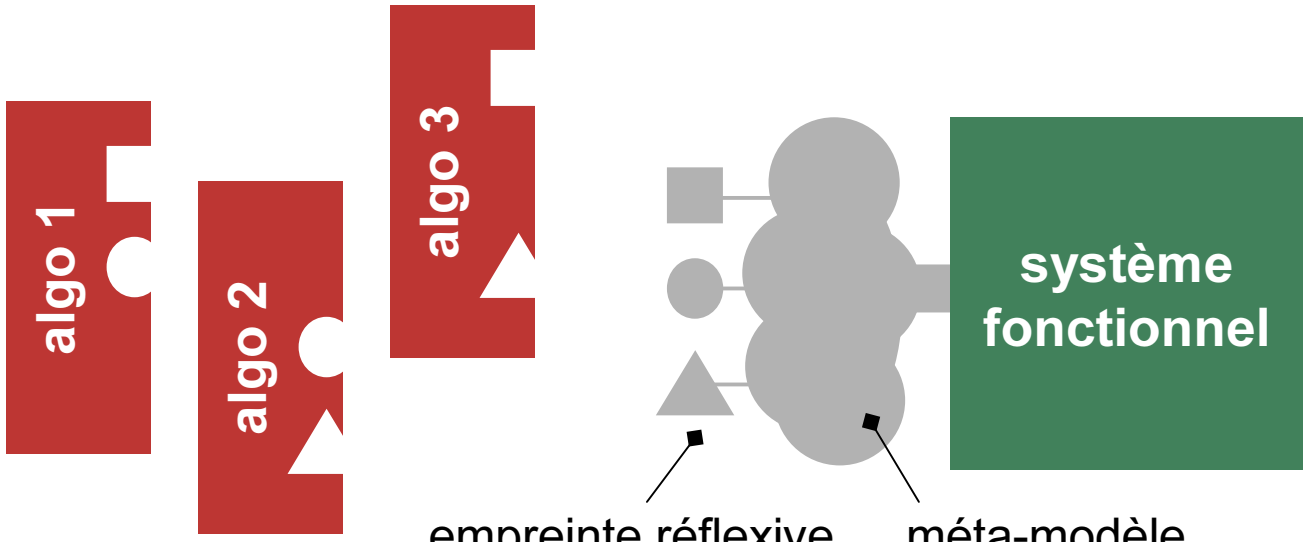
Empreintes réflexives & adaptabilité

- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.



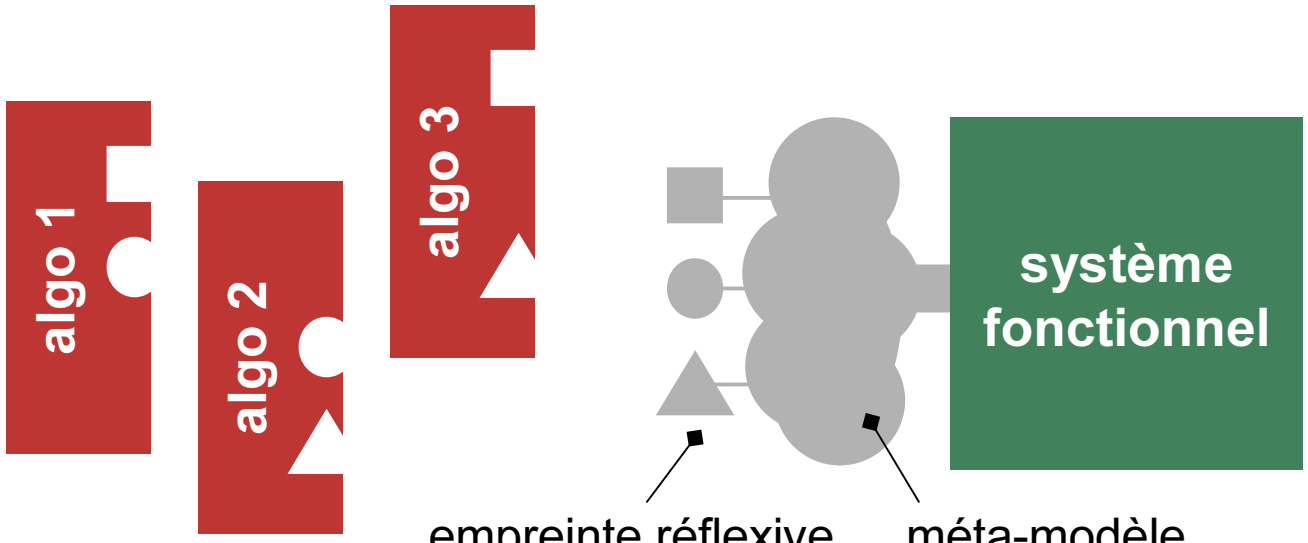
Empreintes réflexives & adaptabilité

- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.
  - ➔ Réutilisation de l'instrumentation ⇨ meilleure qualité, coûts ↘



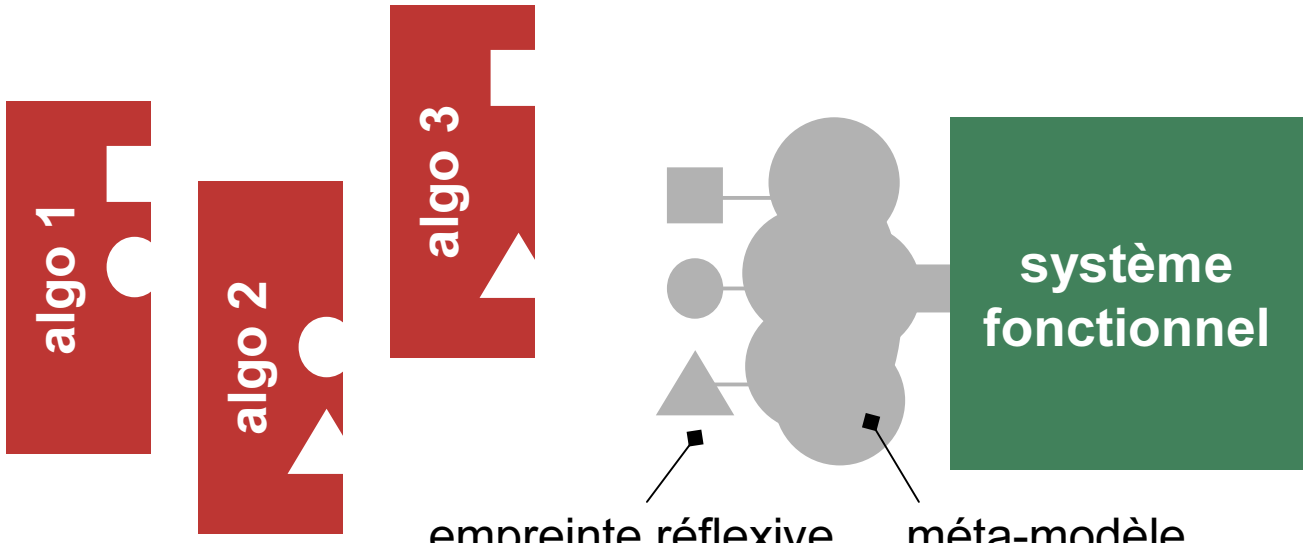
Empreintes réflexives & adaptabilité

- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.
  - ➔ Réutilisation de l'instrumentation ⇨ meilleure qualité, coûts ↘
  - ➔ Rend les algorithmes adaptables en cours de développement.



Empreintes réflexives & adaptabilité

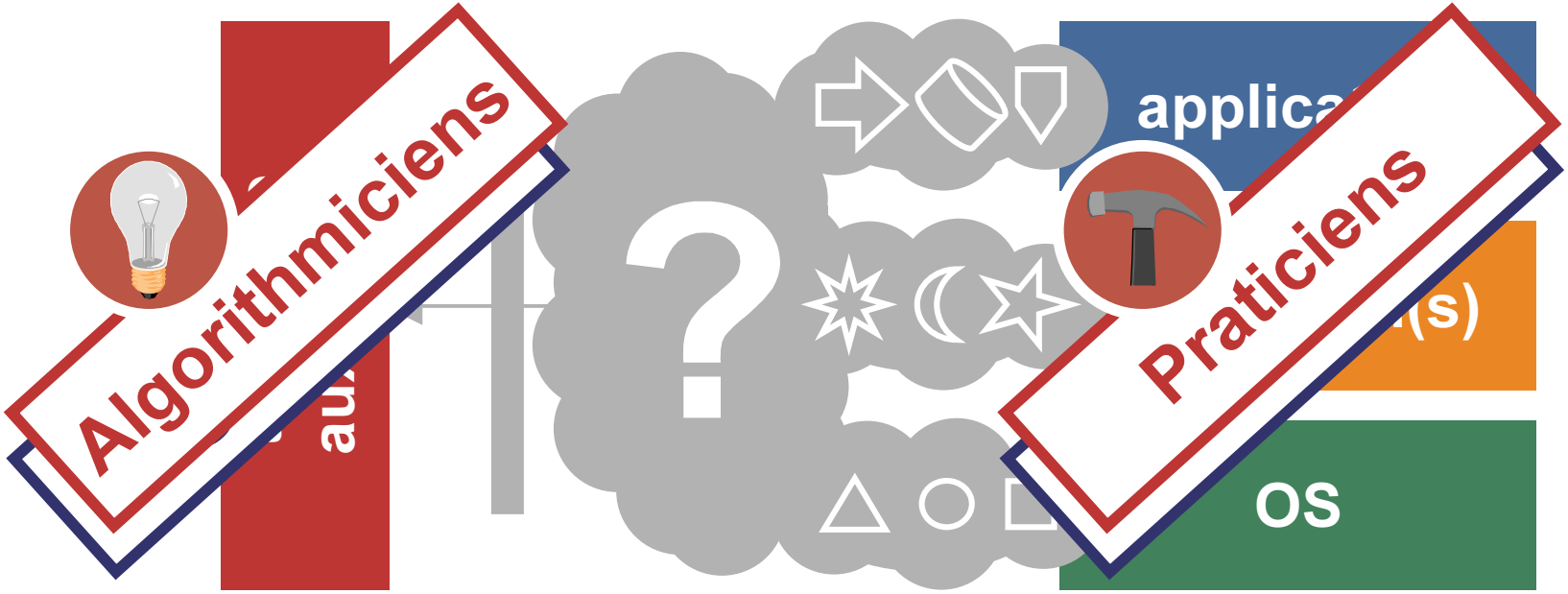
- Empreinte réflexive d'une famille de mécanismes
  - ➔ Découple le choix de l'algorithme de ses besoins opératoires.
  - ➔ Réutilisation de l'instrumentation ⇨ meilleure qualité, coûts ↘
  - ➔ Rend les algorithmes adaptables en cours de développement.
  - ➔ Ouvre la voie à l'adaptation dynamique.



Retour sur la problématique

Quels besoins pour la tolérance aux fautes ?

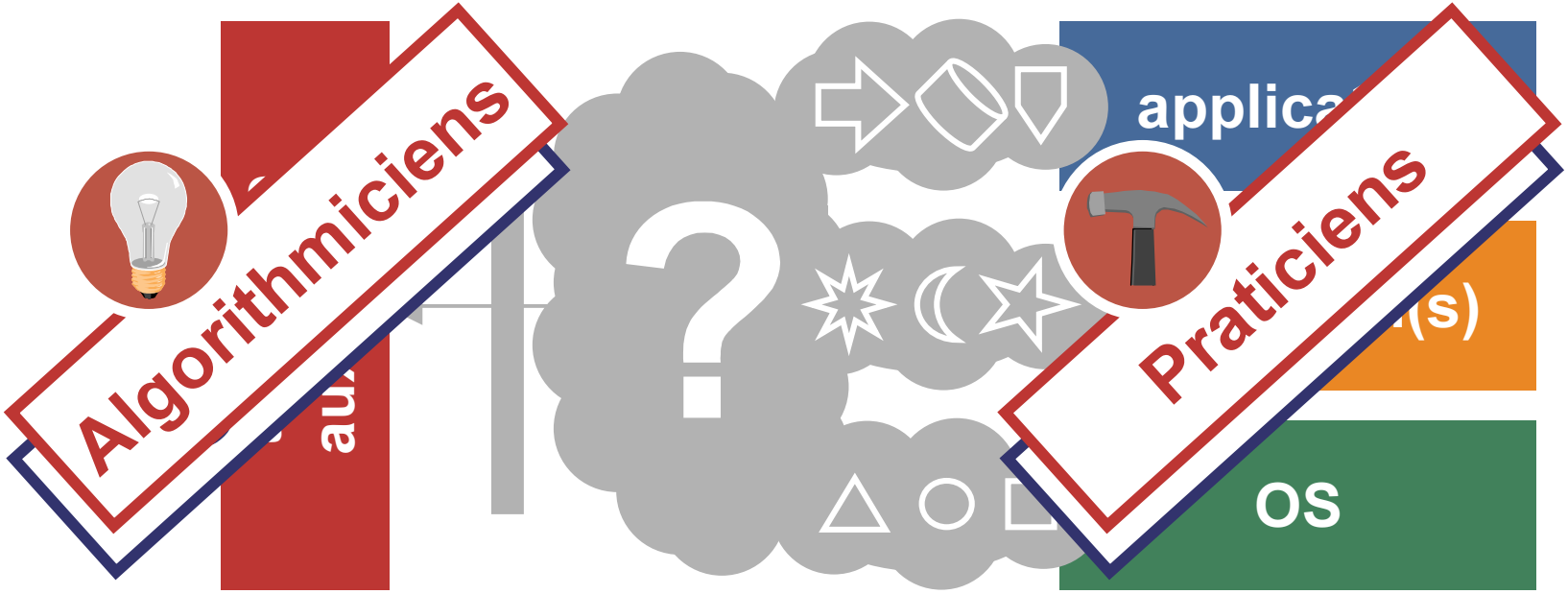
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Retour sur la problématique

Les empreintes réflexives spécifient les besoins réflexifs pour rendre la TaF adaptable.

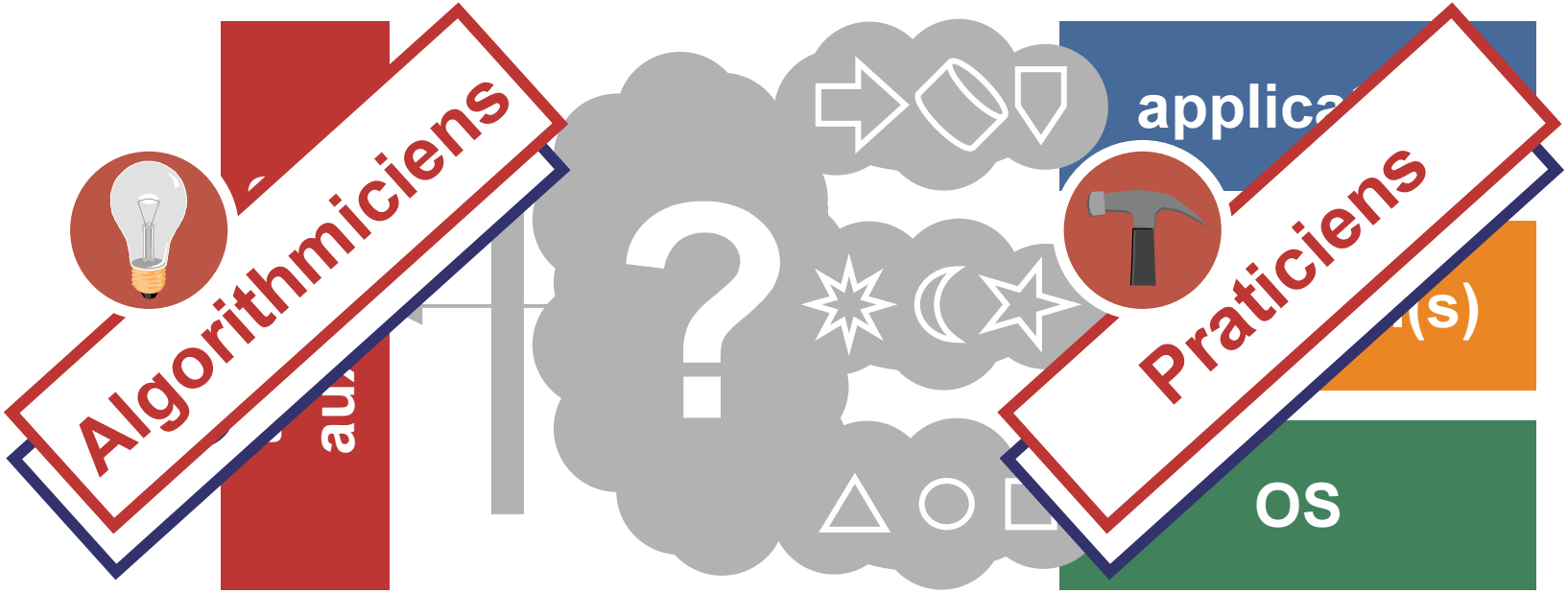
Quels éléments exporter ?
Comment les combiner ?



Retour sur la problématique

Les empreintes réflexives spécifient les besoins réflexifs pour rendre la TaF adaptable.

⇨ **Avec quels éléments concrets réaliser une empreinte ?**

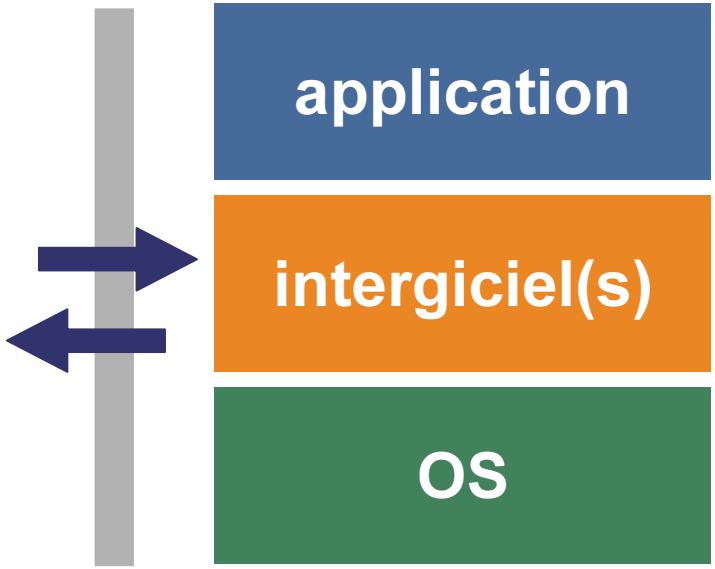


Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes
- **(D) Application à un exemple concret :**
  Réplication multitraitement d 'un serveur CORBA

Abstraction et information

- Les niveaux d'abstraction sont hétérogènes.
  ⇨ L'information disponible est hétérogène.
- Hauts niveaux :
  - ☺ Sémantique riche
  - ☹ Mais de l'information manque.
- Bas niveaux :
  - ☺ Information complète
  - ☹ Mais la sémantique manque.

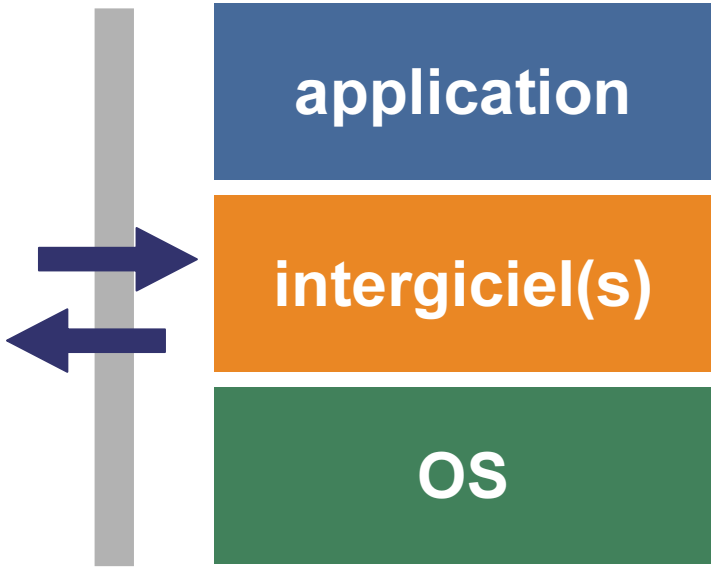


Abstraction et information

- Les niveaux d'abstraction sont hétérogènes.
  ⇨ L'information disponible est hétérogène.

- Hauts niveaux :
  - ☺ Sémantique riche
  - ☹ Mais de l'information manque.

- Bas niveaux :
  - ☺ Information complète
  - ☹ Mais la sémantique manque.

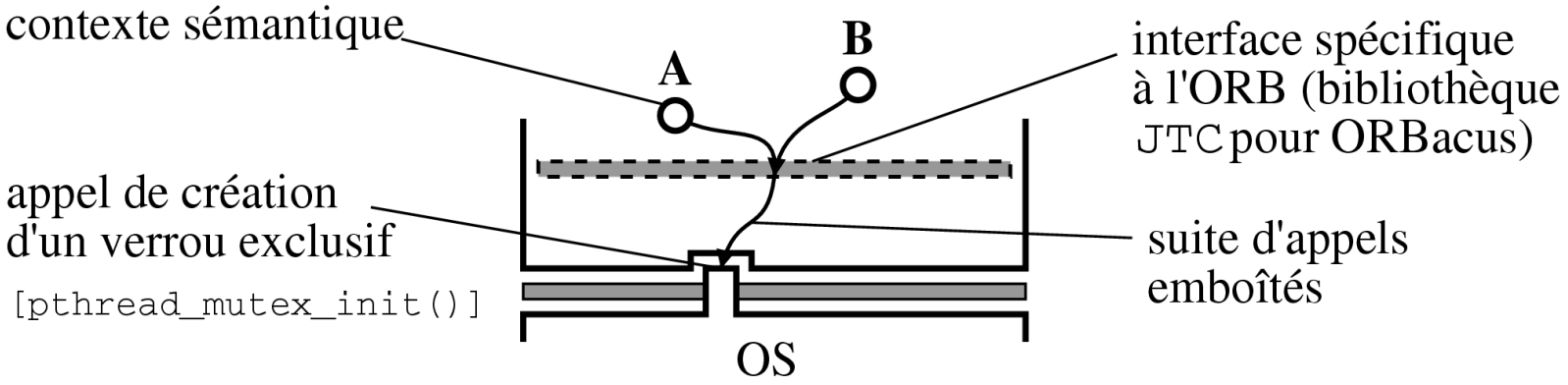


- **Les approches mono-niveaux ne fonctionnent pas :**
  - ➔ Manque d'information : impossibilité de réaliser la TaF
  - ➔ Manque de sémantique ⇨ coûts de performance trop élevés

Transcendance et interception

- La logique globale du système **transcende** les bas niveaux.
  - ➔ Par exemple : connexion réseau (socket) au niveau OS
    - Soit début d'une requête CORBA
    - Soit initialisation d'une fenêtre X11

- Notion de **contexte sémantique** : exemple bus à objets



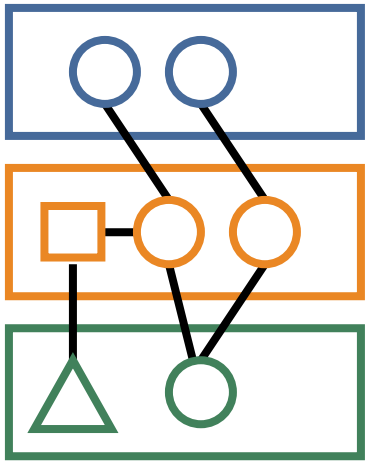
- Instrumentation par interception des bas niveaux :
  Nécessité de savoir pour le compte de qui on intercepte.

Utilisation des liens inter-niveaux

Pour réaliser une empreinte réflexive la compréhension des liens entre les niveaux (transcendance) permet de combiner l'intelligence des hauts niveaux avec la force brute des bas niveaux.

Utilisation des liens inter-niveaux

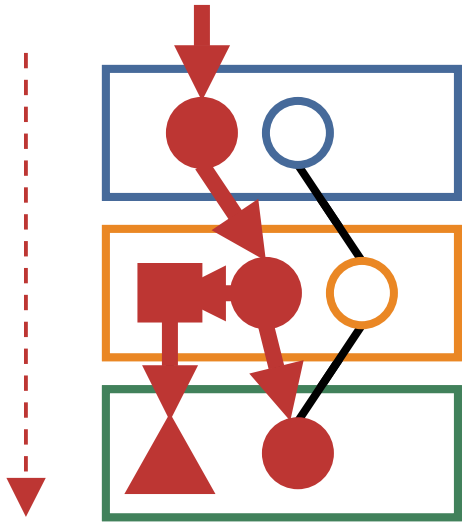
Pour réaliser une empreinte réflexive la compréhension des liens entre les niveaux (transcendance) permet de combiner l'intelligence des hauts niveaux avec la force brute des bas niveaux.



Utilisation des liens inter-niveaux

Pour réaliser une empreinte réflexive la compréhension des liens entre les niveaux (transcendance) permet de combiner l'intelligence des hauts niveaux avec la force brute des bas niveaux.

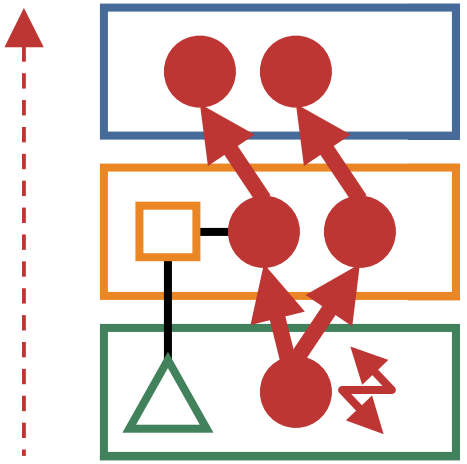
- Utilisation descendante
  - ➔ capture d'état
  - ➔ maîtrise du non-déterminisme



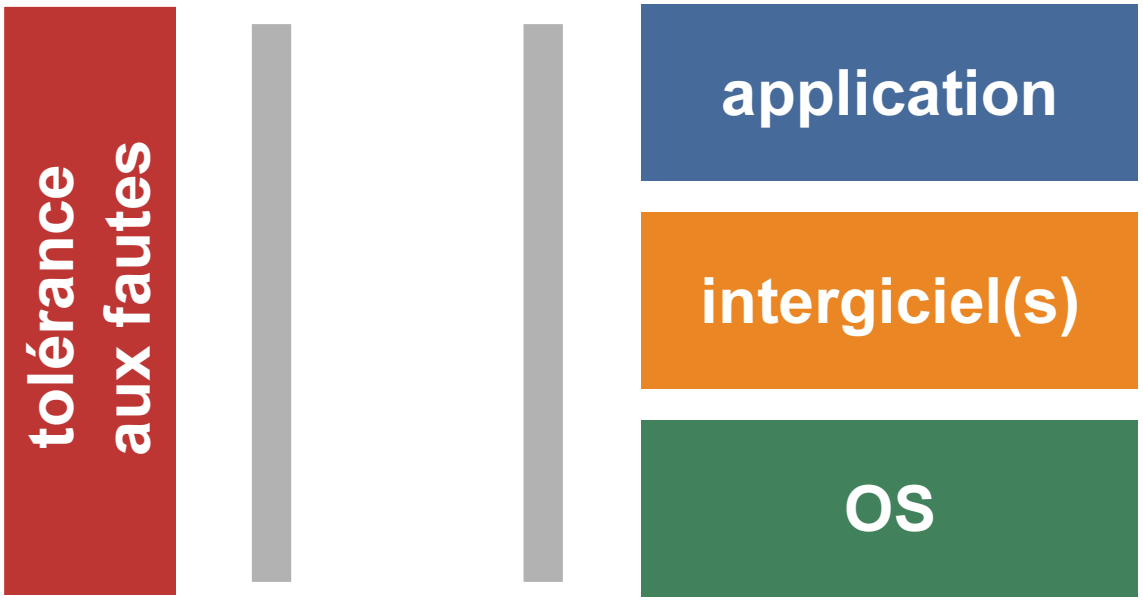
Utilisation des liens inter-niveaux

Pour réaliser une empreinte réflexive la compréhension des liens entre les niveaux (transcendance) permet de combiner l'intelligence des hauts niveaux avec la force brute des bas niveaux.

- Utilisation descendante
  - ➔ capture d'état
  - ➔ maîtrise du non-déterminisme
- Utilisation ascendante
  - ➔ analyse des propagations d'erreurs
  - ➔ recouvrement par reprise avant



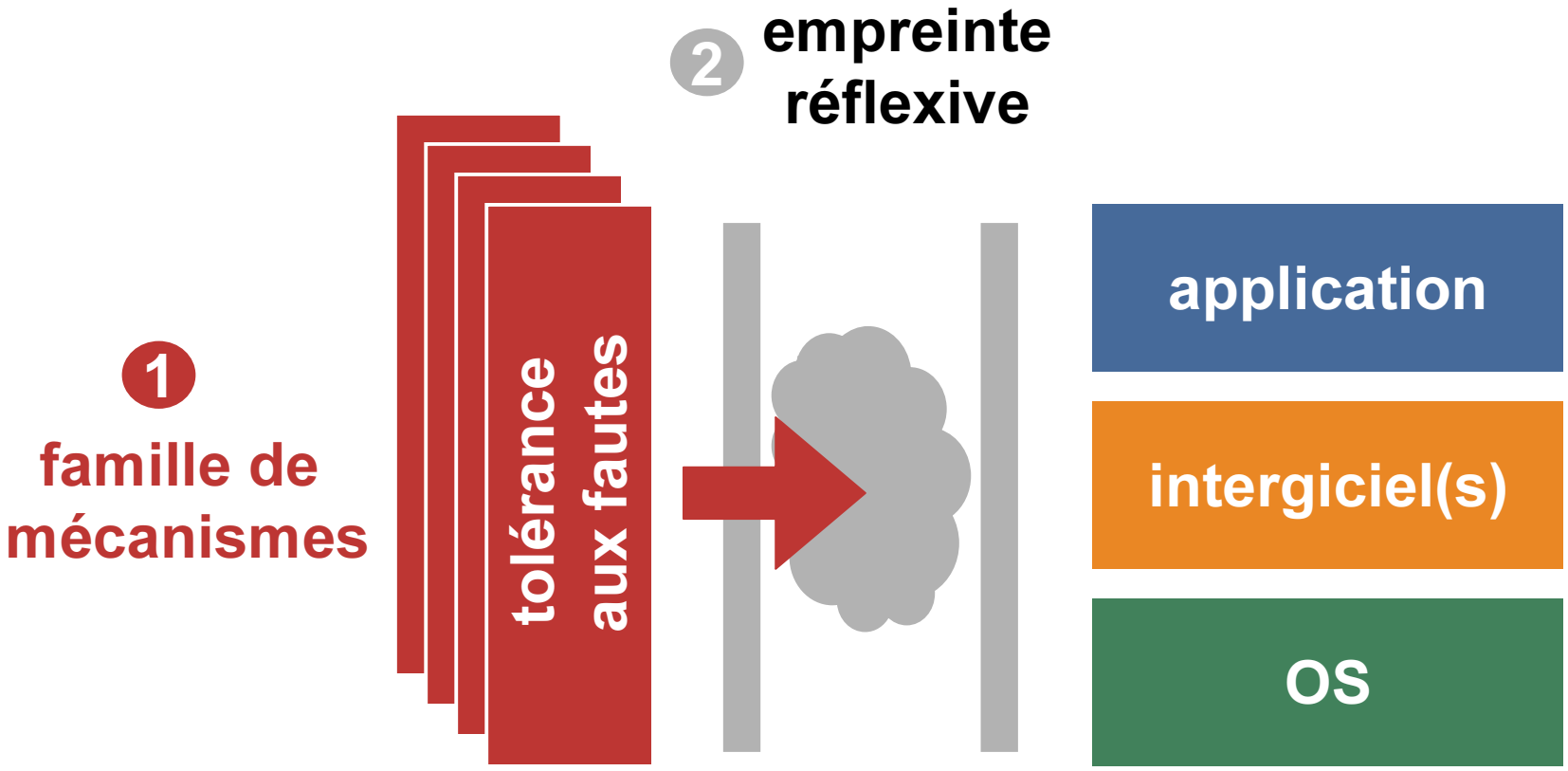
La démarche



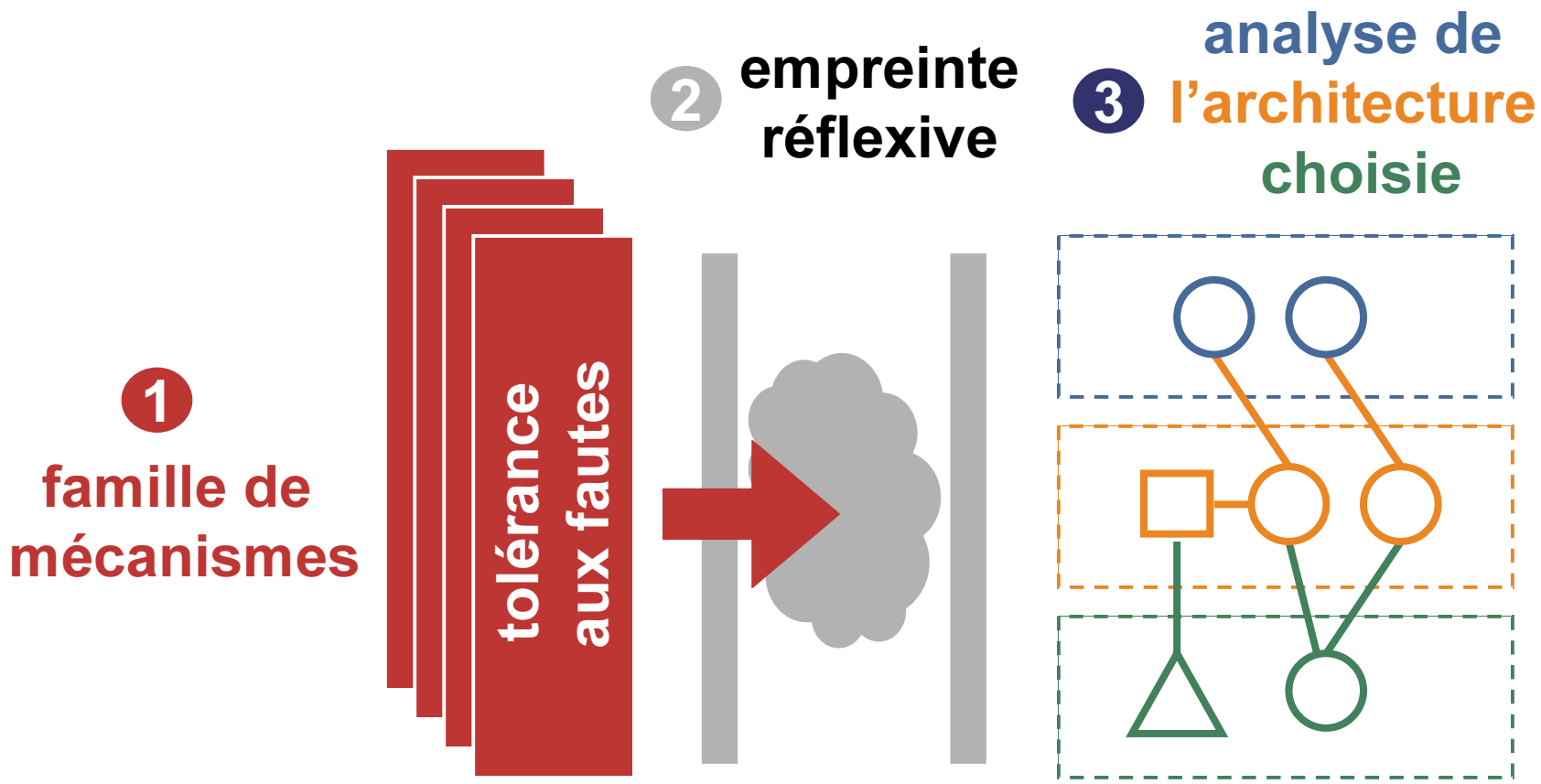
La démarche


1
famille de mécanismes
tolérance aux fautes
application
intergiciel(s)
OS

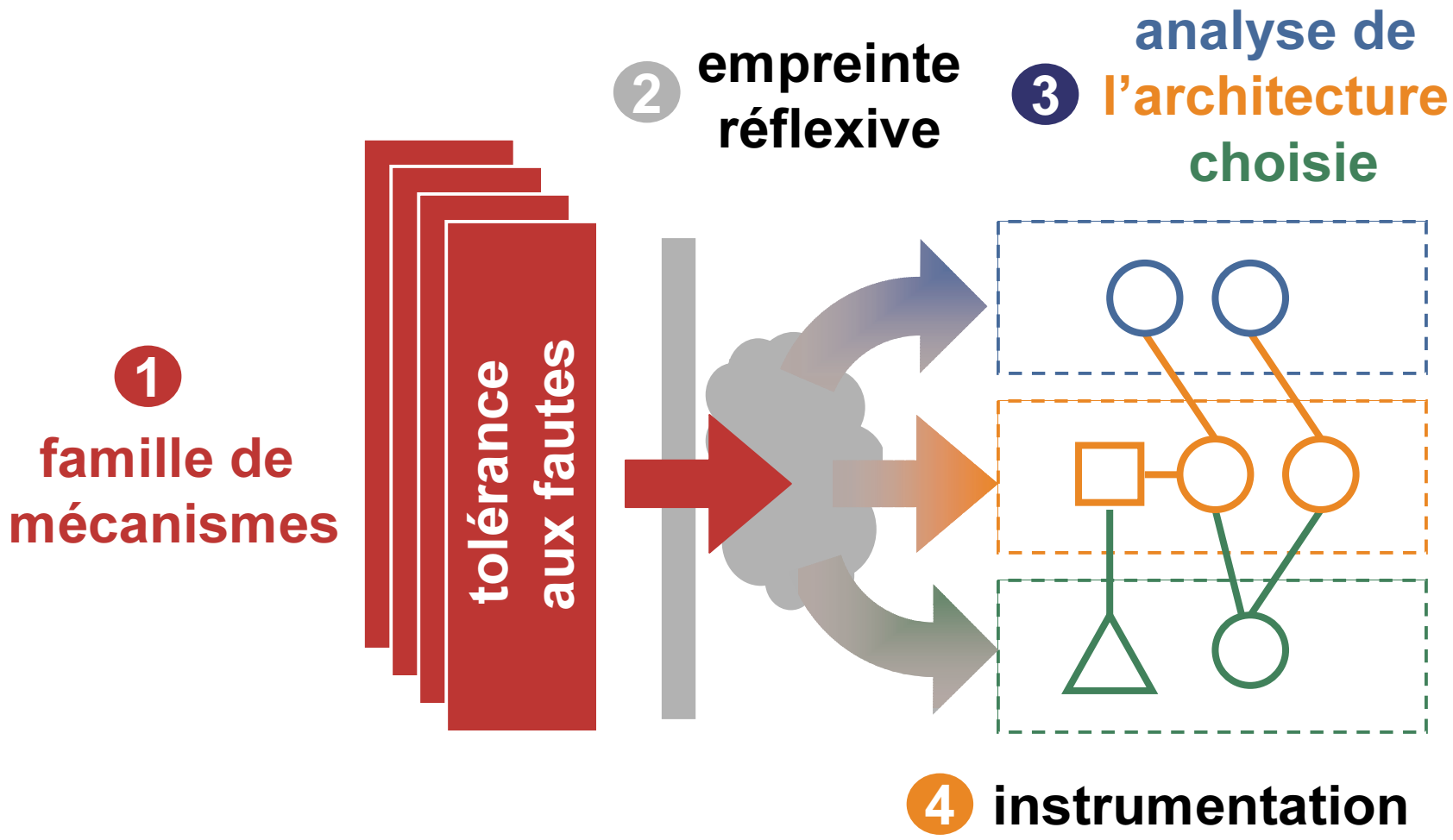
La démarche


2
empreinte
réflexive
1
famille de
mécanismes
tolérance
aux fautes
application
intergiciel(s)
OS

La démarche


1
famille de mécanismes
tolérance aux fautes
2
empreinte réflexive
3
analyse de l'architecture choisie

La démarche

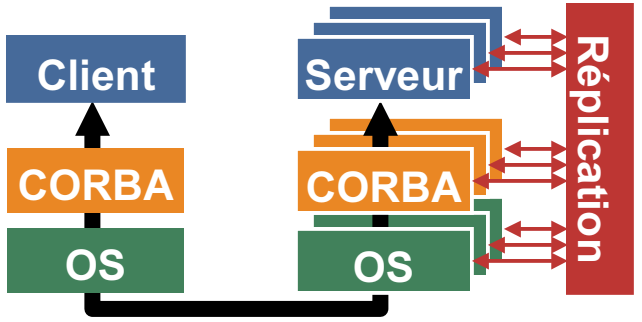

1
famille de mécanismes
tolérance aux fautes
2
empreinte réflexive
3
analyse de l'architecture choisie
4
instrumentation

Plan

- **(A) Qu'est-ce-que la réflexivité ?**
- **(B)** Point de vue algorithmique :
  Besoins réflexifs de la tolérance aux fautes
- **(C)** Point de vue architectural :
  La réflexivité dans les systèmes complexes
- **(D)** Application à un exemple concret :
  Réplication multi-traitement d'une plate-forme CORBA / Linux

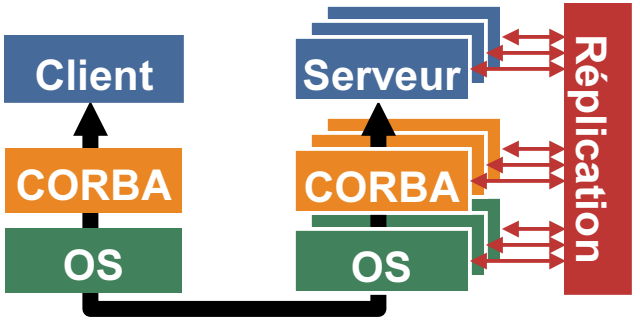
Exemple concret : réplication & multitraitement

- Objectif : réplication transparente d'une application CORBA
  - ➔ Multi-niveaux : **POSIX** (Linux + biblio.) + **CORBA** (ORBacus)
  - ➔ Multitraitement : traitement concurrent des requêtes
  - ➔ À réserve de brins : limitation de la concurrence



Exemple concret : réplication & multitraitement

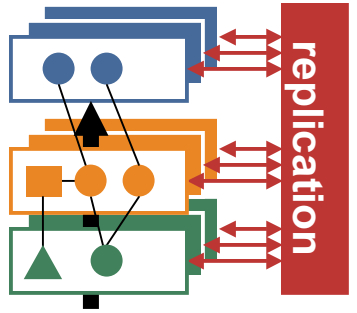
- Objectif : réplication transparente d'une application CORBA
  - ➔ Multi-niveaux : **POSIX** (Linux + biblio.) + **CORBA** (ORBacus)
  - ➔ Multitraitement : traitement concurrent des requêtes
  - ➔ À réserve de brins : limitation de la concurrence



⇨ Mise en pratique des 4 étapes de la démarche

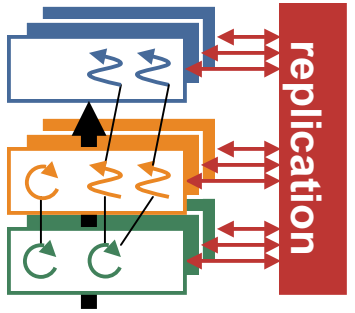
Exemple concret : réplication & multitraitement

- Objectif : réplication transparente d'une application CORBA
  - ➔ Multi-niveaux : **POSIX** (Linux + biblio.) + **CORBA** (ORBacus)
  - ➔ Multitraitement : traitement concurrent des requêtes
  - ➔ À réserve de brins : limitation de la concurrence
- *Problème 1:* capture & restauration de l'état
  - ➔ État applicatif
  - ➔ État de l'intergiciel + et de l'OS



Exemple concret : réplication & multitraitement

- Objectif : réplication transparente d'une application CORBA
  - ➔ Multi-niveaux : **POSIX** (Linux + biblio.) + **CORBA** (ORBacus)
  - ➔ Multitraitement : traitement concurrent des requêtes
  - ➔ À réserve de brins : limitation de la concurrence



- *Problème 1:* capture & restauration de l'état
  - ➔ État applicatif
  - ➔ État de l'intergiciel + et de l'OS
- *Problème 2:* maîtrise du non-déterminisme
  - ➔ Hypothèse: multitraitement seule source de non-déterminisme
  - ➔ Comment répliquer les décisions non-déterministes ?

Empreinte de la réplication

Facettes réflexives

	Communication	***Exécution***	***État***
Capacités d'observation	RequestReception RequestSending ReplySending ReplyReception	ExecutionPointStart ExecutionPointEnd ExecutionPointReach NonDeterministicFlowChange	NonDeterministicPlatformCall
	getRequestContent getReplyContent	getExecutionPoint	getServerState getPlatformState
Capacités d'action	doSend doReceive	createExecutionPoint setExecutionPoint forceResultOfFlowChange	forceResultOfPlatformCall
	piggyBackDataOnMsg		setServerState setPlatformSate

Empreinte de la réplication

Facettes réflexives

	Communication	***Exécution***	*État*
Capacités d'observation	RequestReception RequestSending ReplySending ReplyReception	ExecutionPointStart ExecutionPointEnd ExecutionPointReach NonDeterministicFlowChange	NonDeterministicPlatformCall
	getRequestContent getReplyContent	getExecutionPoint	getServerState getPlatformState
Capacités d'action	doSend doReceive	createExecutionPoint setExecutionPoint forceResultOfFlowChange	forceResultOfPlatformCall
	piggyBackDataOnMsg		setServerState setPlatformSate

Concrétisation de l'empreinte

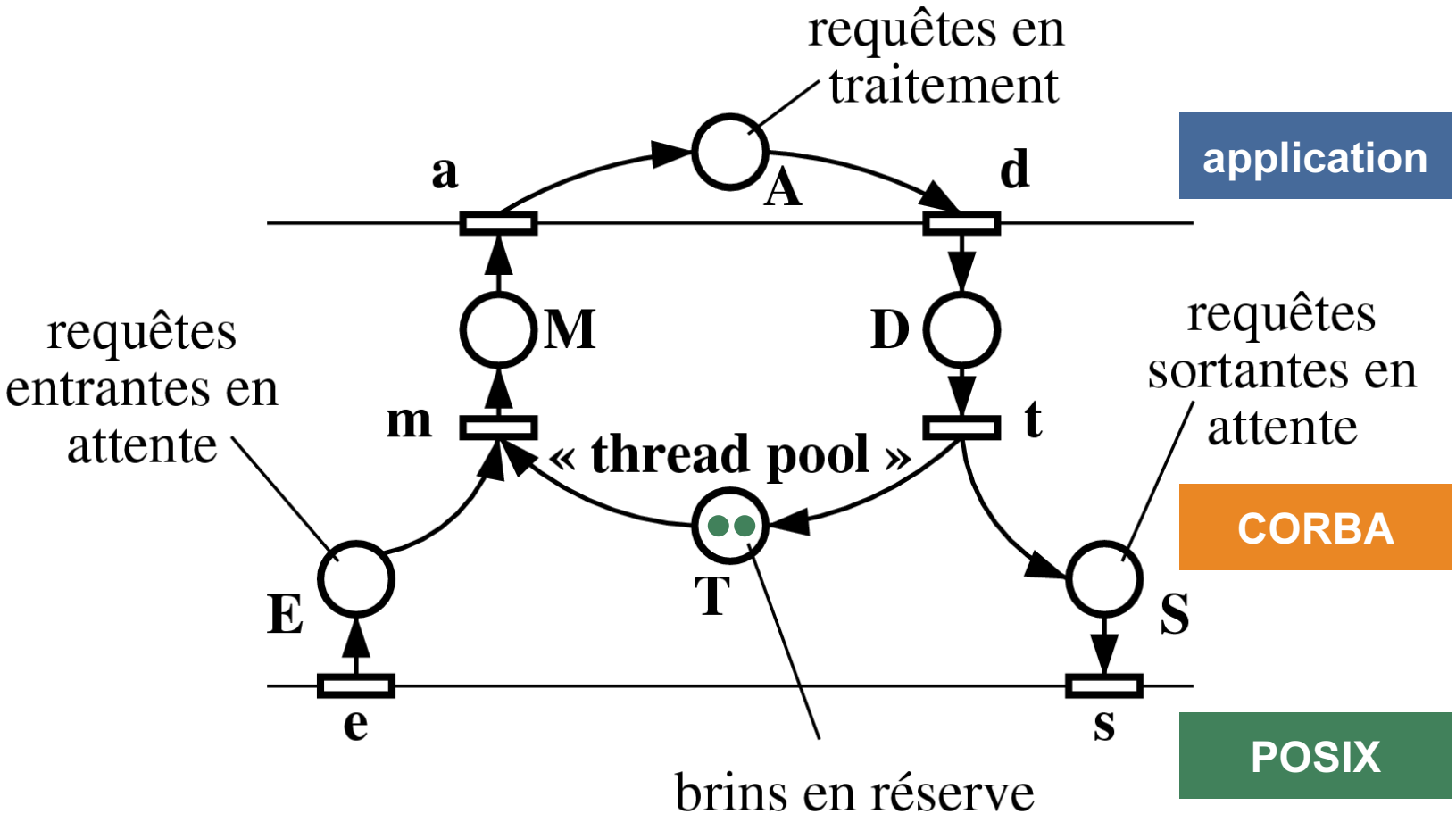
- Tous les éléments d'une architecture n'ont pas la même « permanence ».
  - ➔ Les interfaces (CORBA, POSIX) restent.
  - ➔ Les implémentations (ORBacus, GNU/Linux) changent.
- **Concrétisation** de l'empreinte réflexive en **2 temps :**

Analyse : modélisation des liens CORBA⇔ POSIX

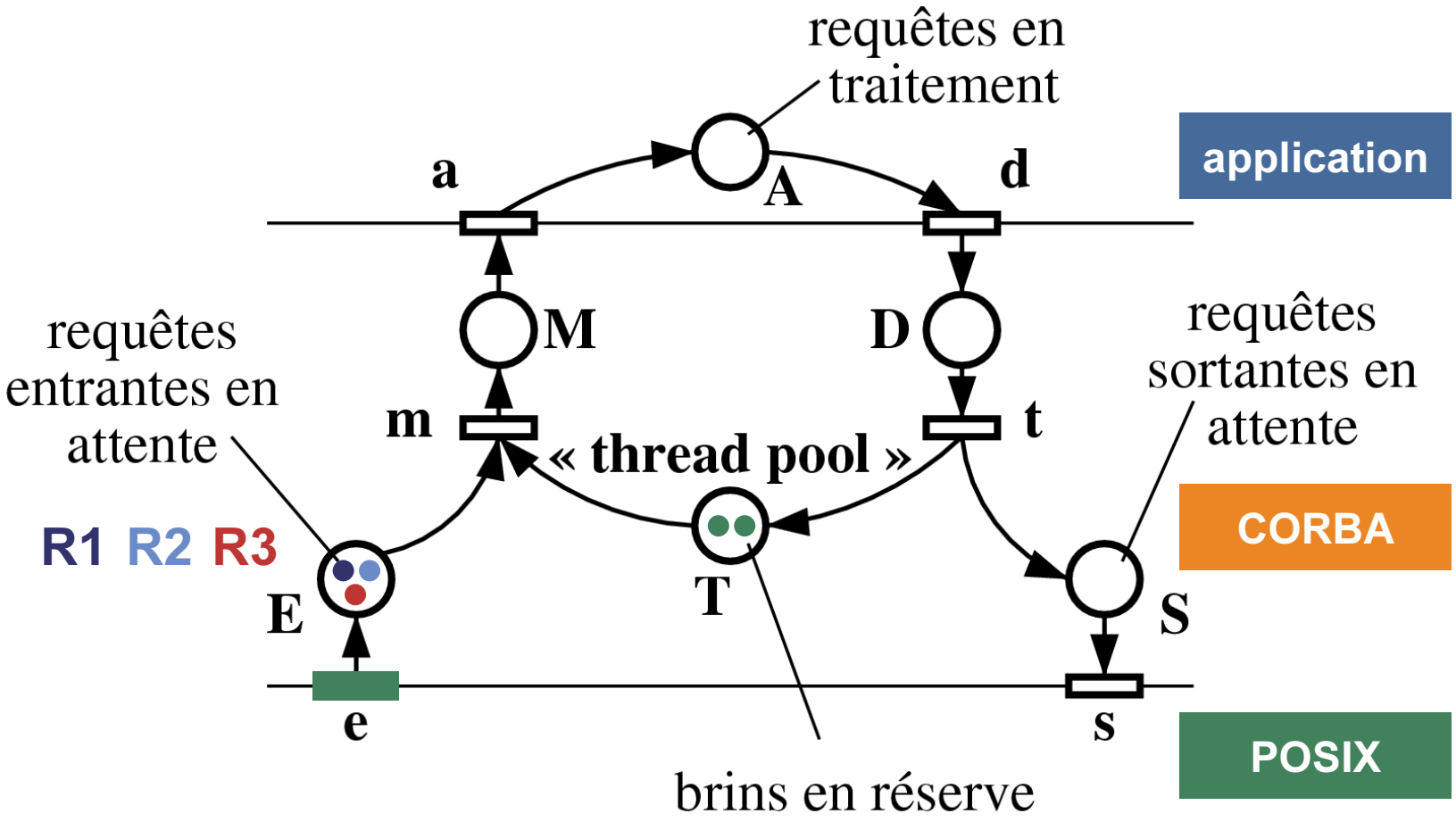
- ➔ En factorisant notre connaissance de plusieurs ORB
- ➔ Indépendamment de toute implémentation particulière
- ➔ Détermine où réaliser les capacités réflexives de l'empreinte

Instrumentation concrète sur ORBacus + GNU/Linux

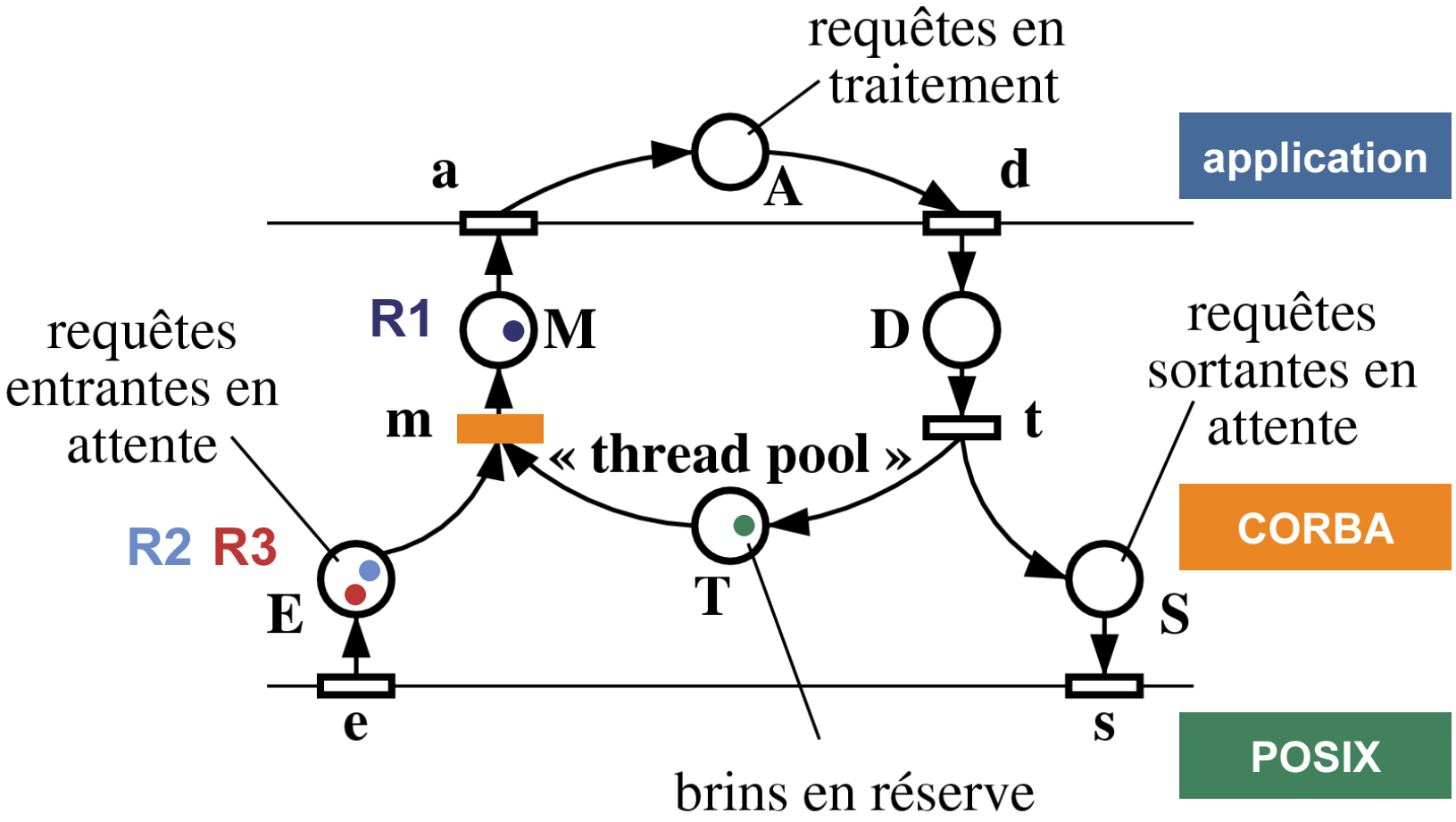
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



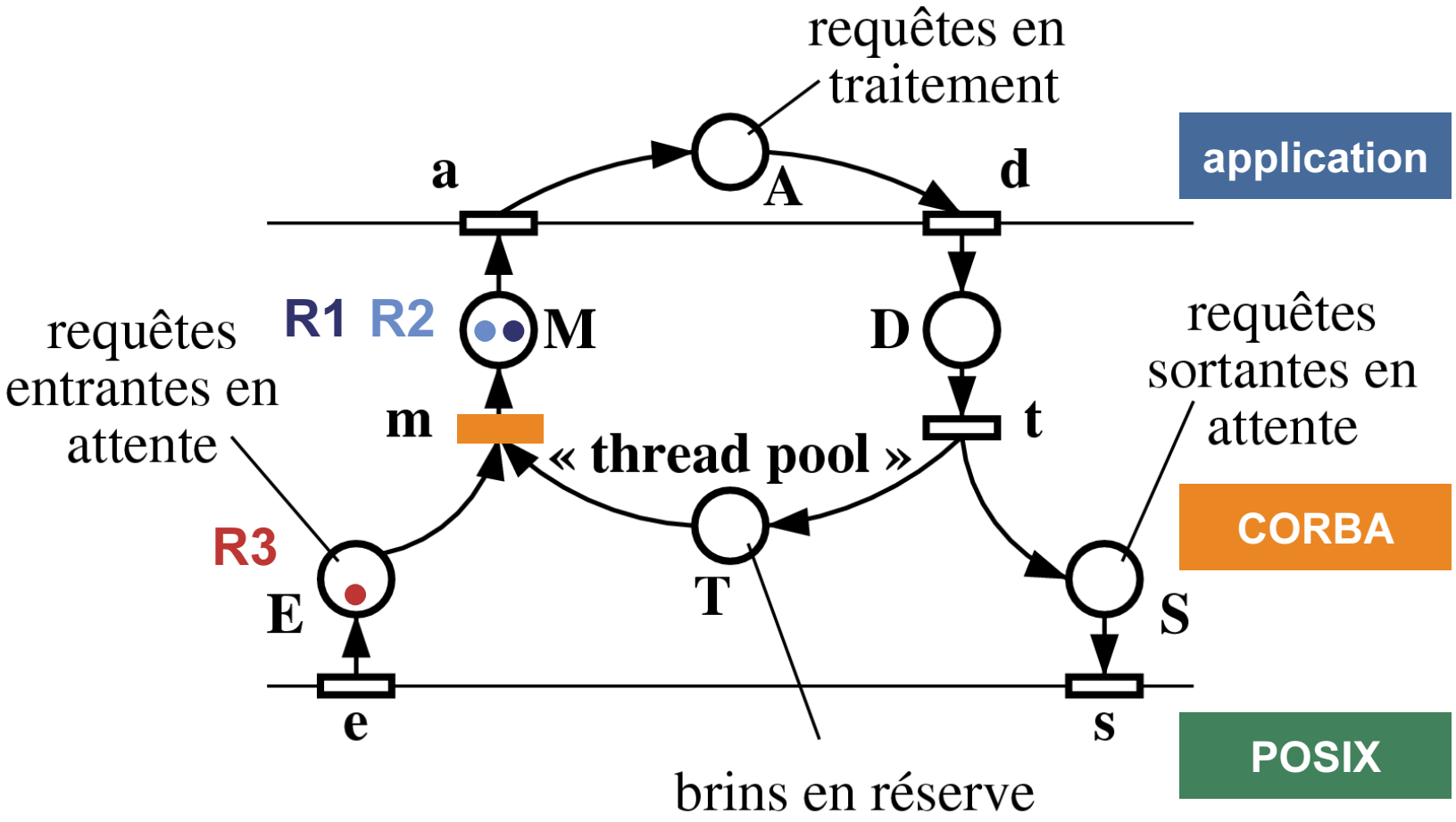
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



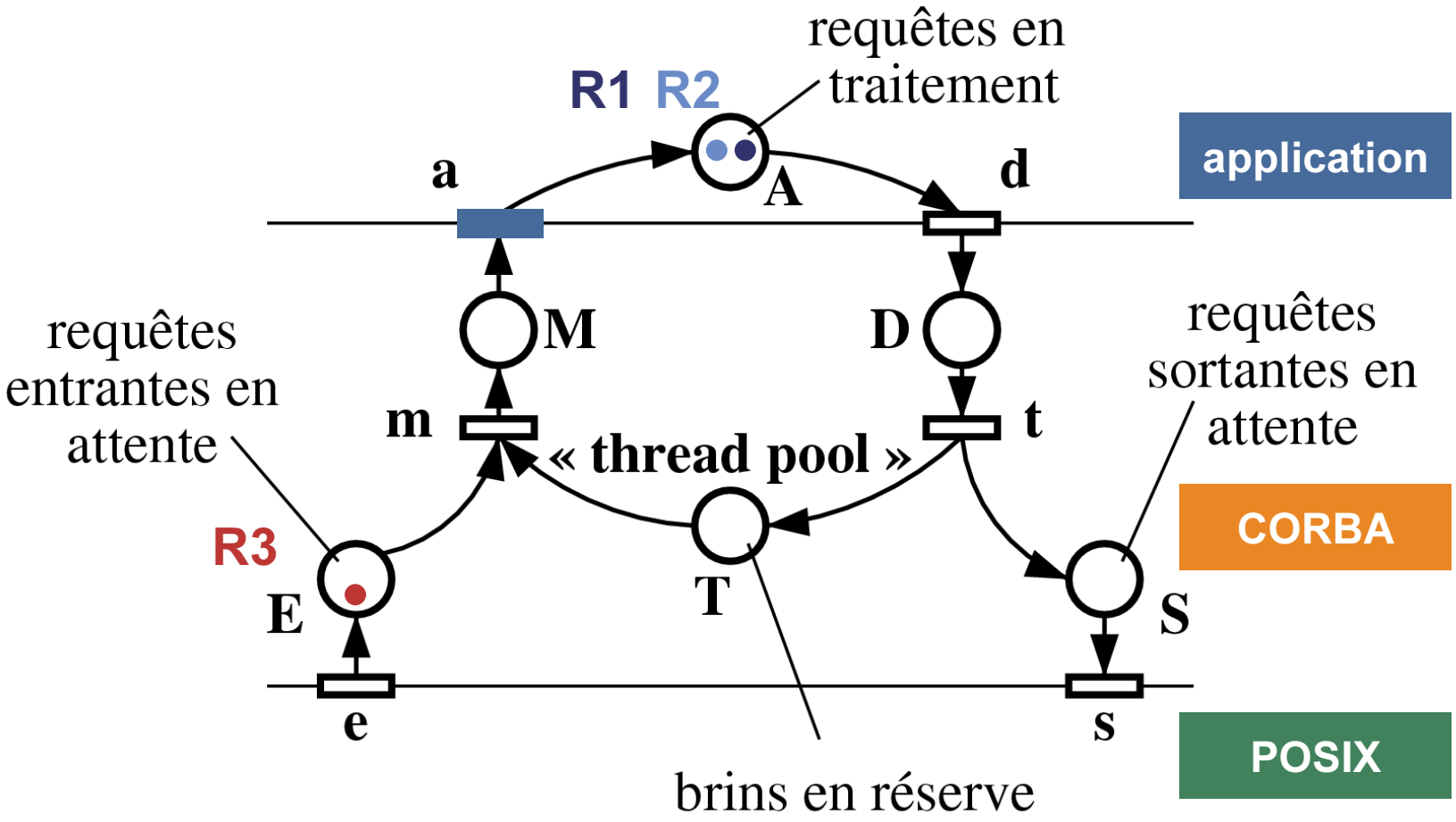
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



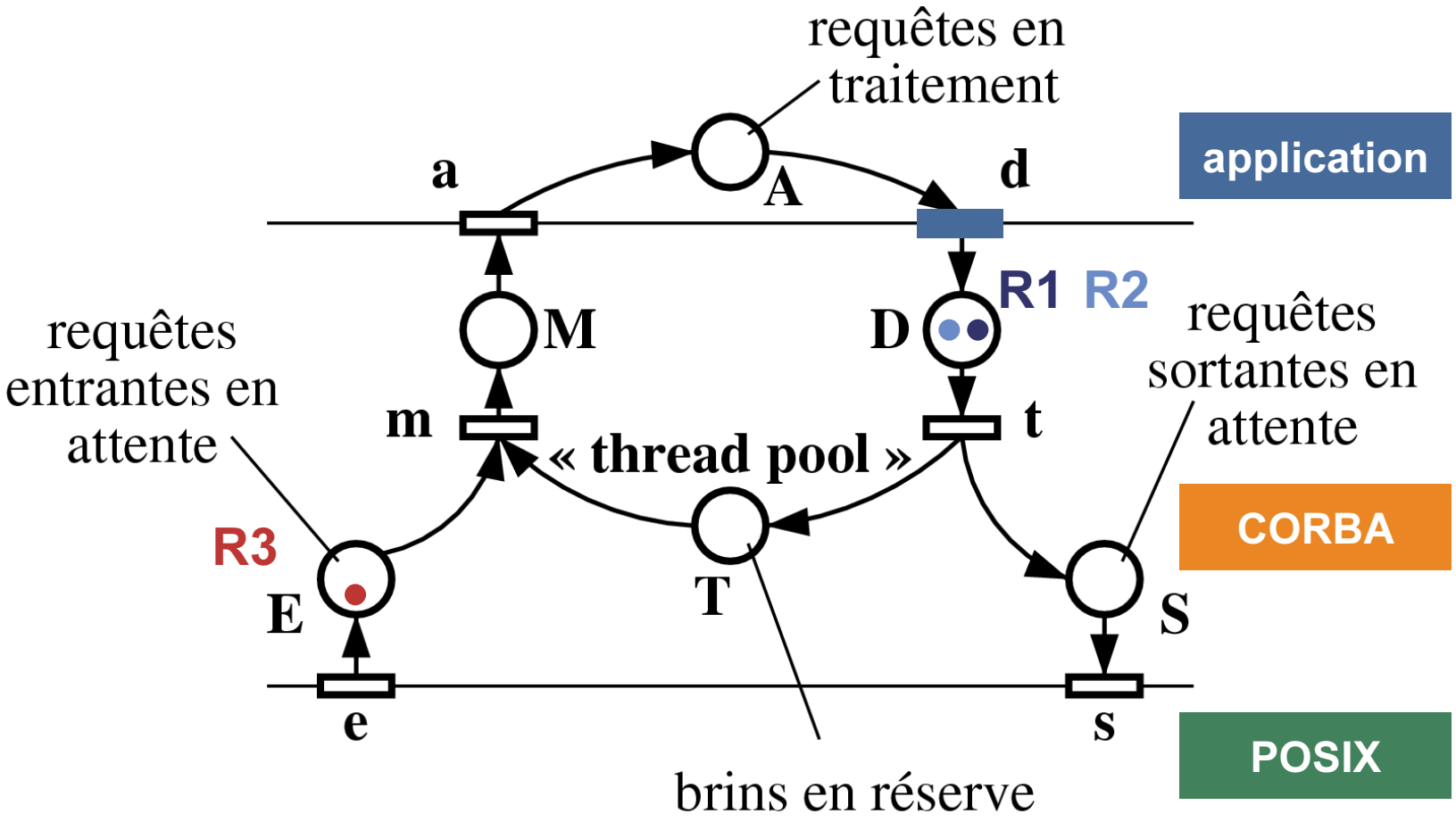
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



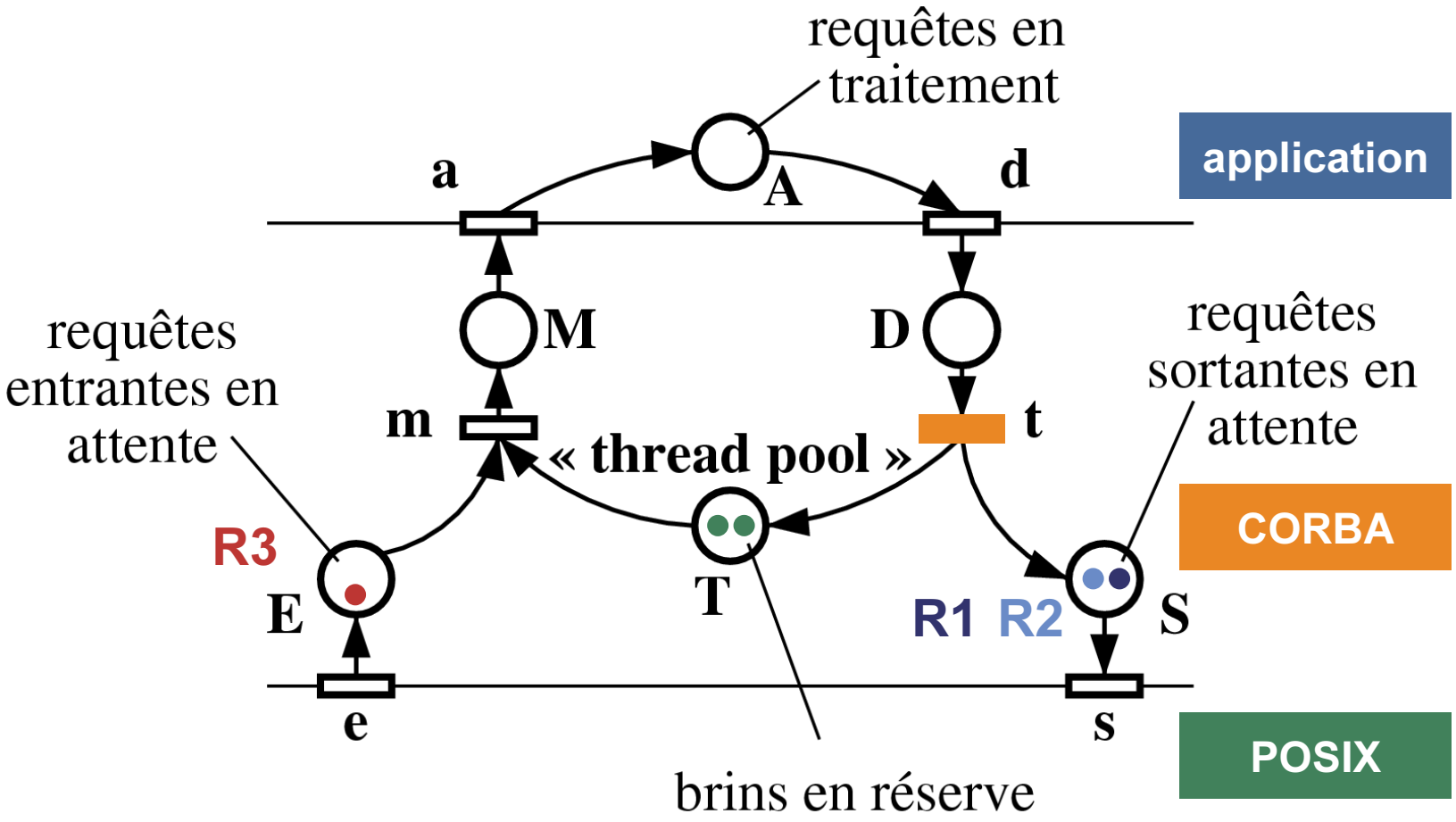
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



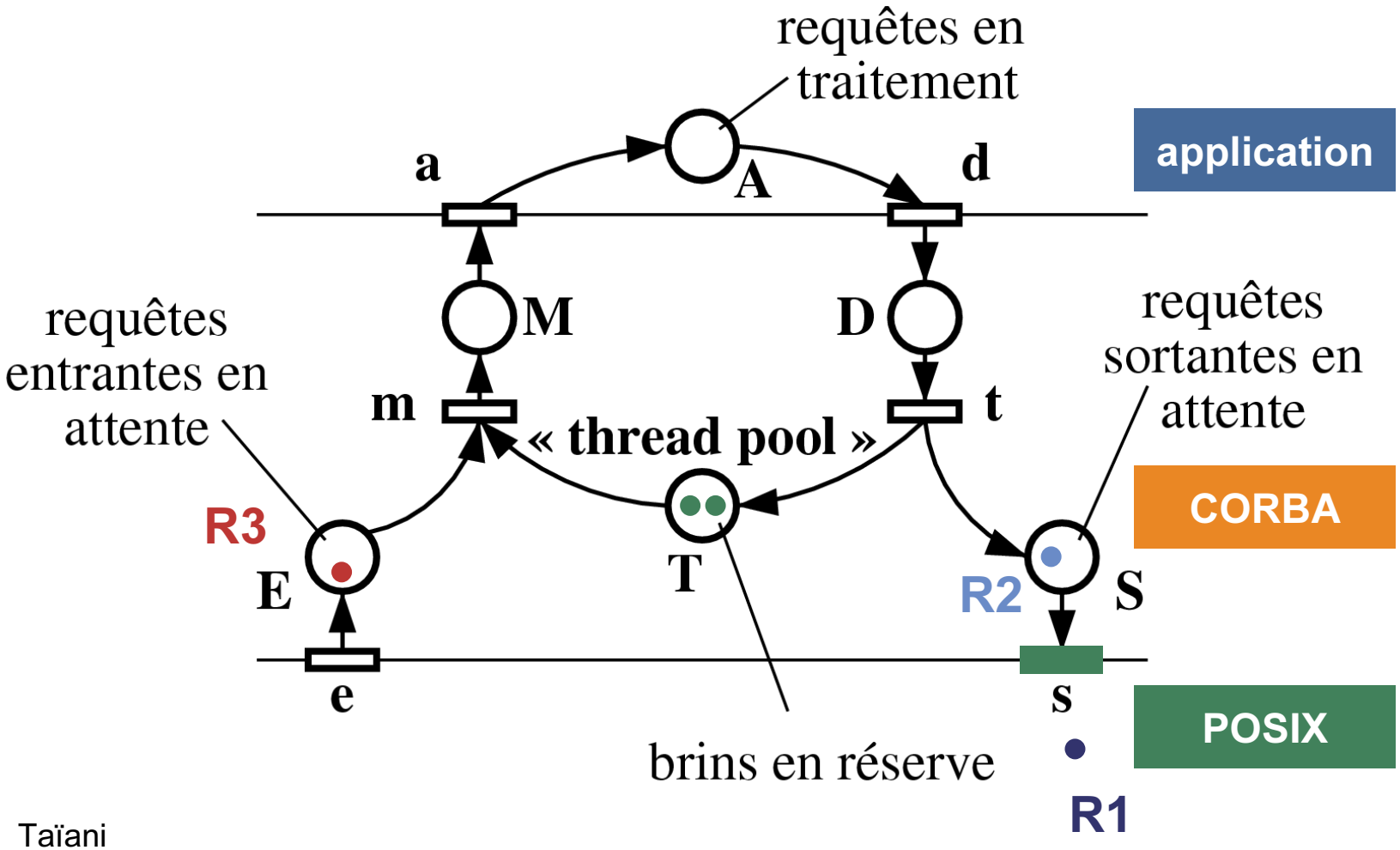
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



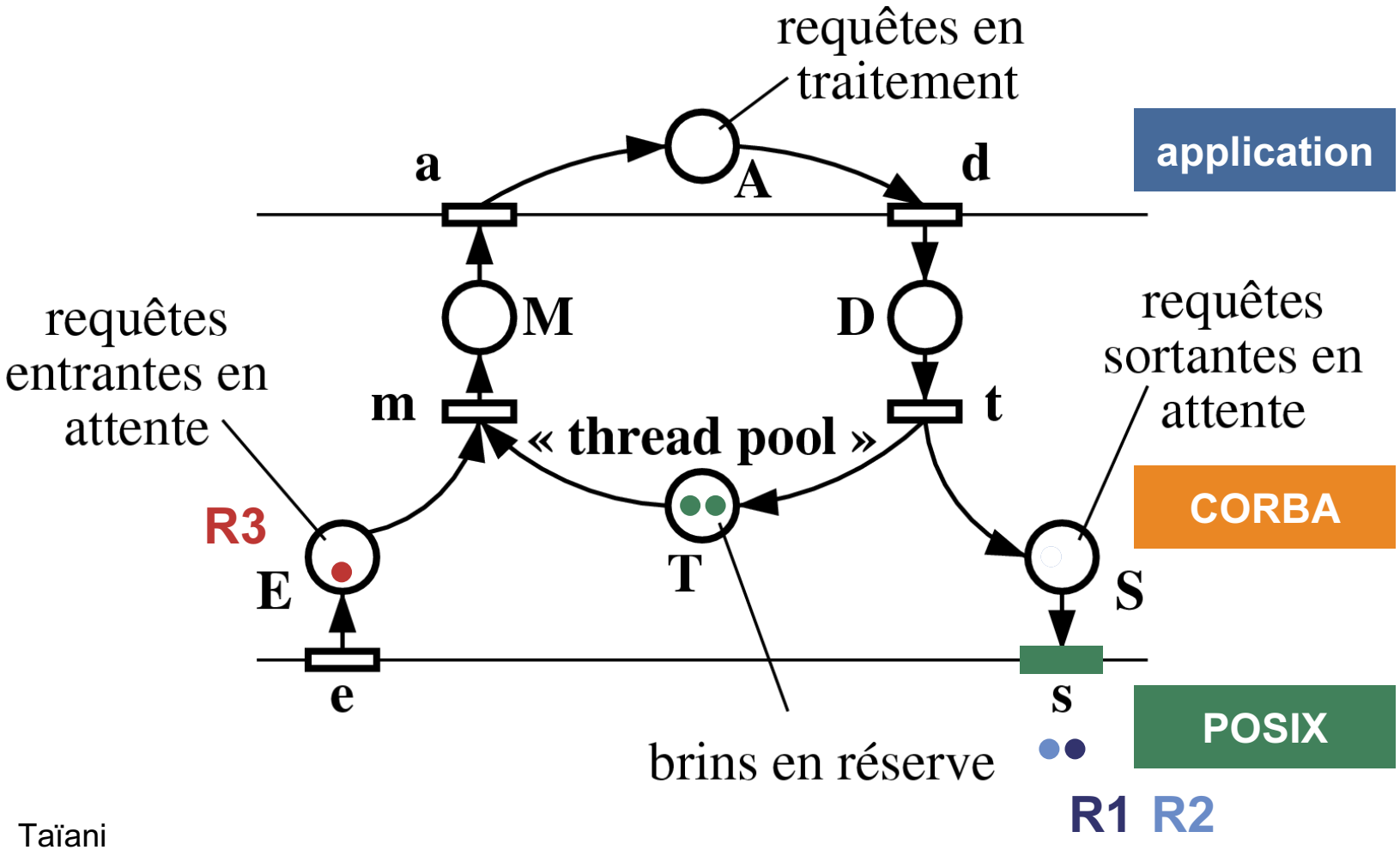
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



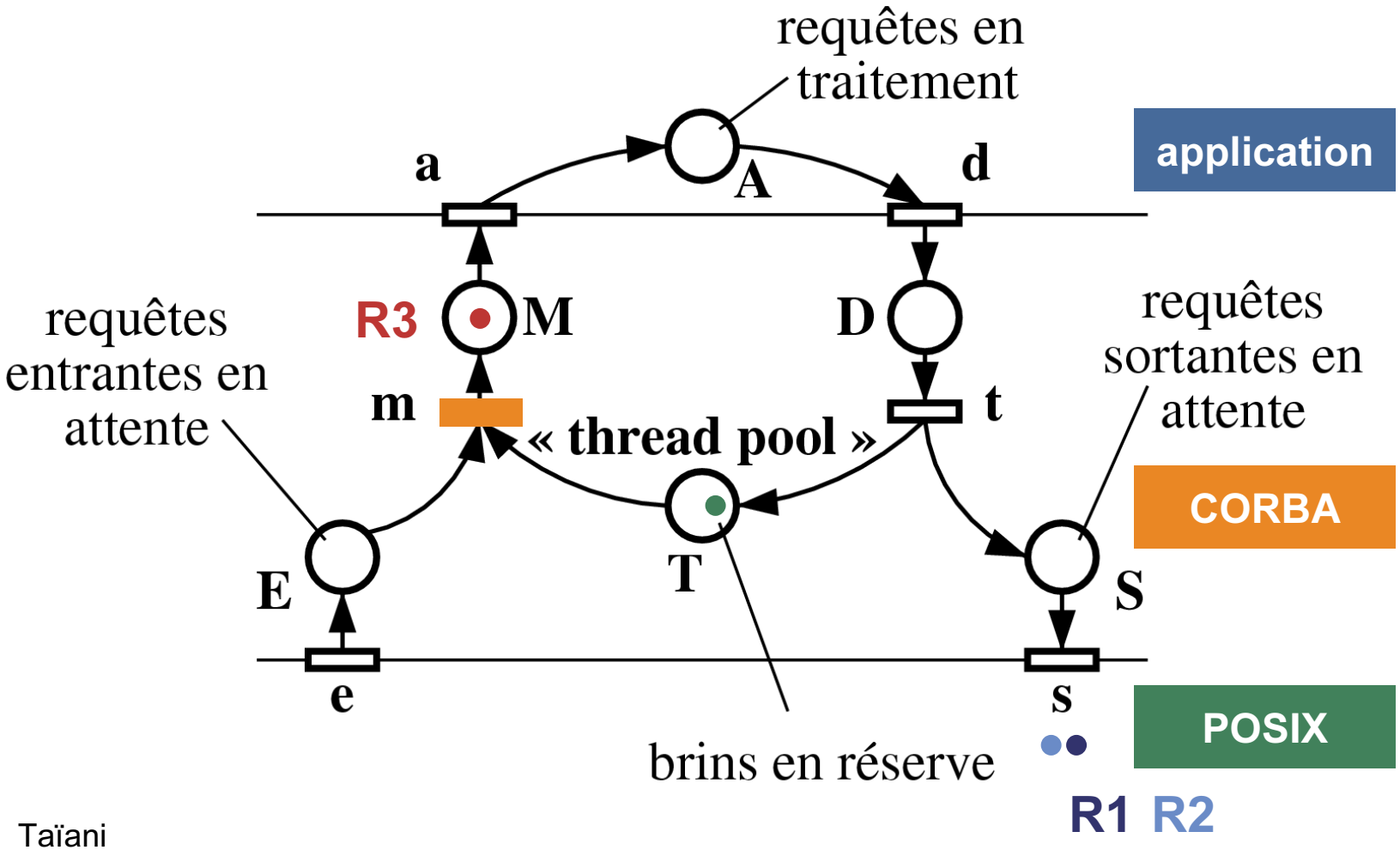
Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



Modélisation des liens POSIX ⇔ CORBA



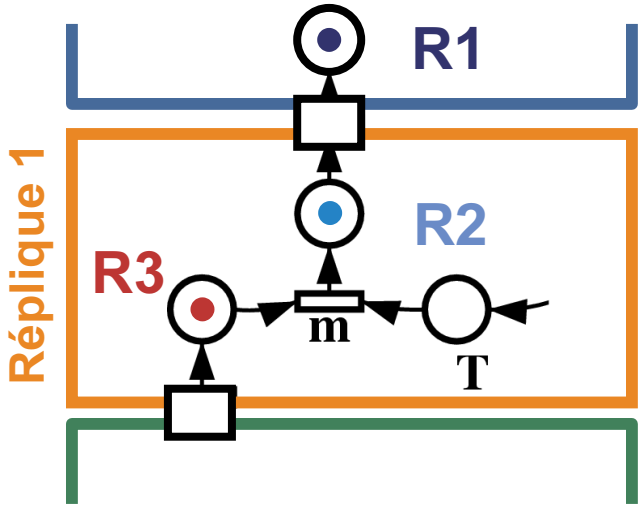
Appli

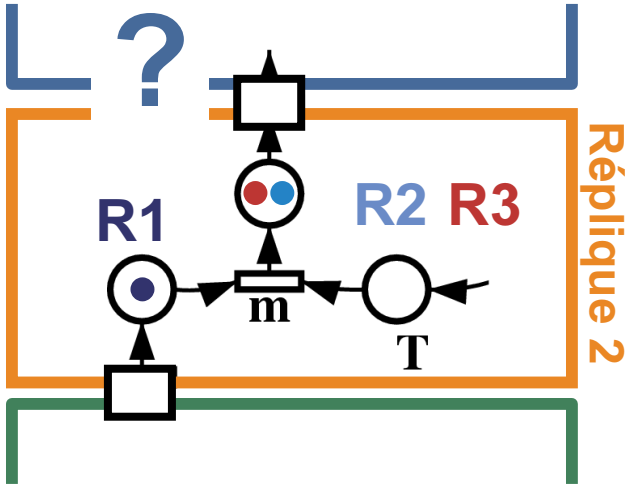
?

?

Réplication du déterminisme : Niveau applicatif seul

- L'ordonnancement des requêtes par l'intergiciel est arbitraire.





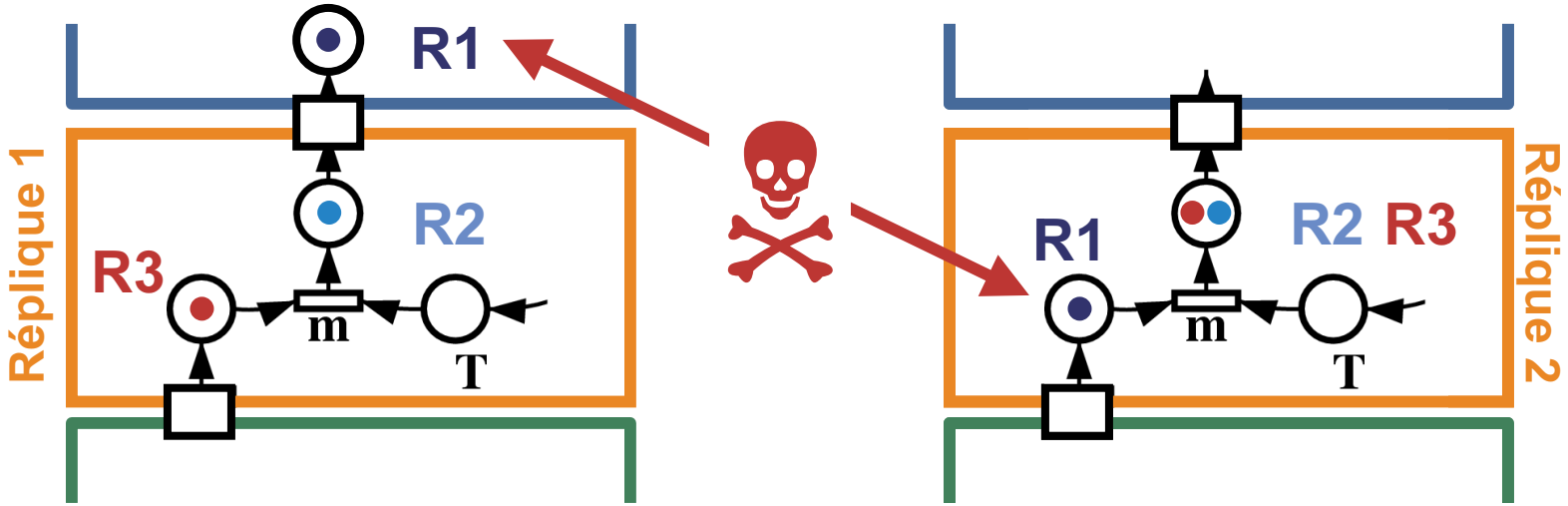
Appli

?

?

Réplication du déterminisme : Niveau applicatif seul

- L'ordonnancement des requêtes par l'intergiciel est arbitraire.



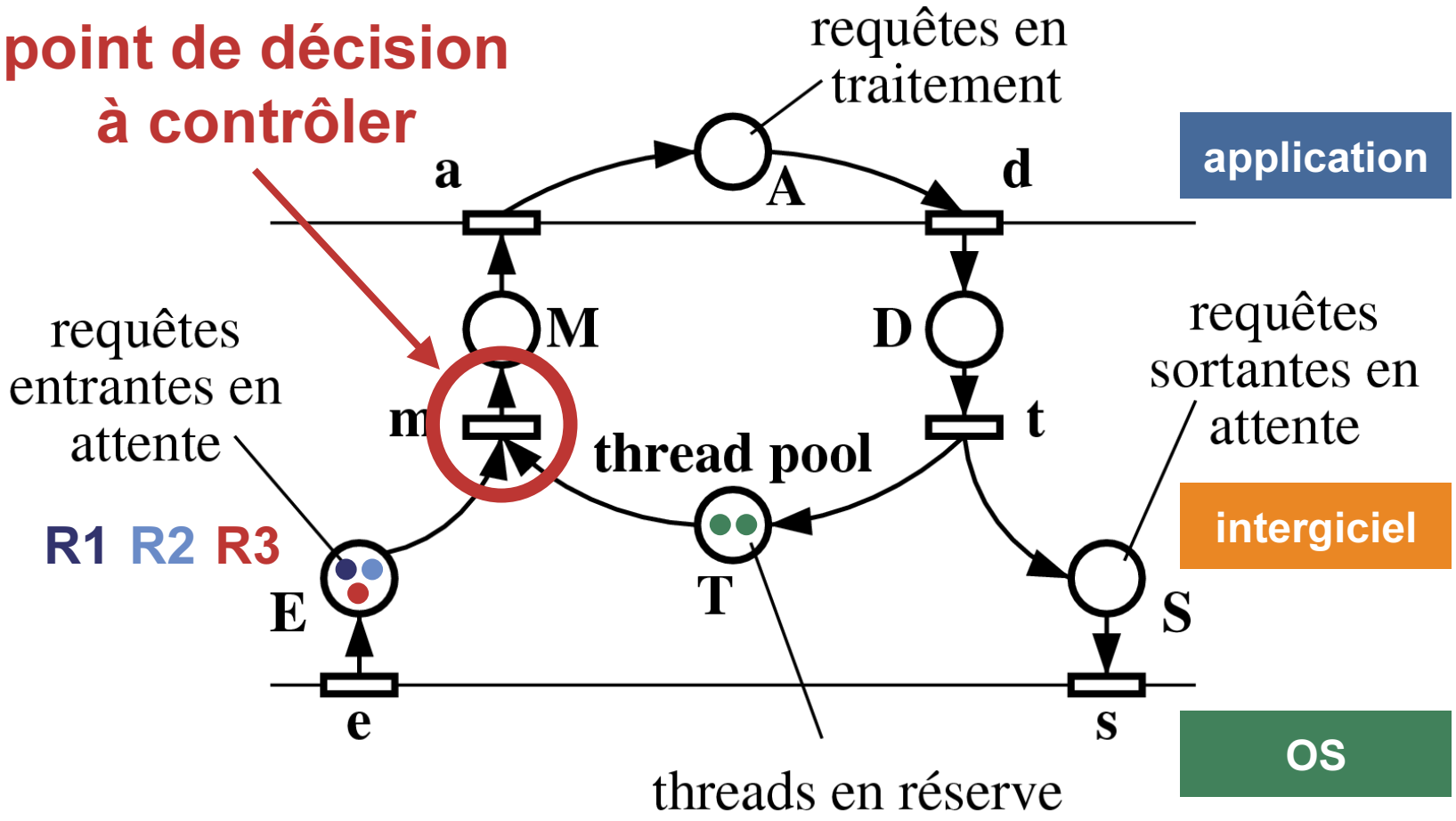
- La réplication de l'ordonnancement observé au niveau applicatif aboutit à un **blocage**
  - ➔ dû à la réserve de brins (ici de taille 2).
  - ➔ Les décisions d'ordonnancement internes à l'intergiciel ne peuvent être contrôlées depuis l'application.

Appli

?

?

Identification du problème



?

?

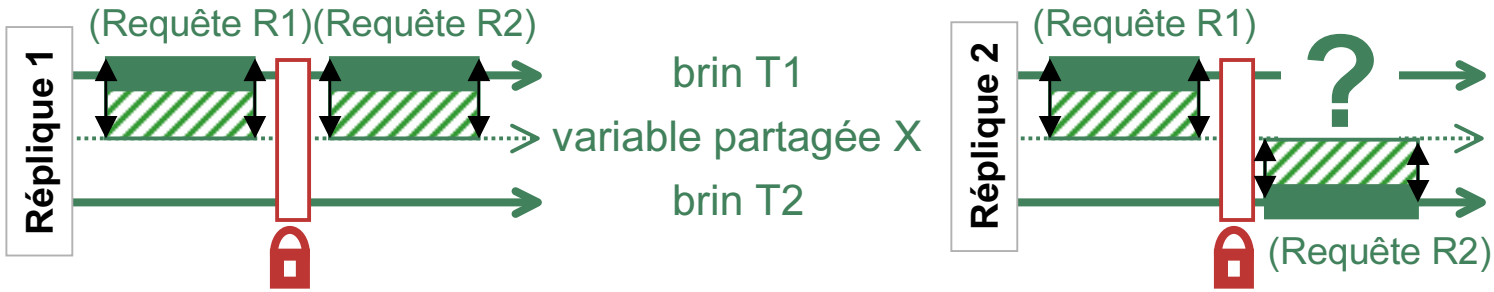
OS

Niveau OS seul

- L'allocation des verrous de l'OS peut être contrôlée :
  - ➔ Même ordonnancement des brins sur toutes les répliques
  - ➔ Les requêtes sont transmises / traitées dans le même ordre.
  - ☺ Toutes les répliques ont le même état : cohérence des répliques (hypothèse: MT = seule source de non-déterminisme)

☹ Mais cette solution sur-contraint l'exécution des répliques :

- ➔ Impossible de relier l'activité de l'OS à celle de l'intergiciel
- ➔ Nécessité de répliquer toutes les décisions sur les verrous



non-équivalent ☞ réplication de toutes les décisions

Appli

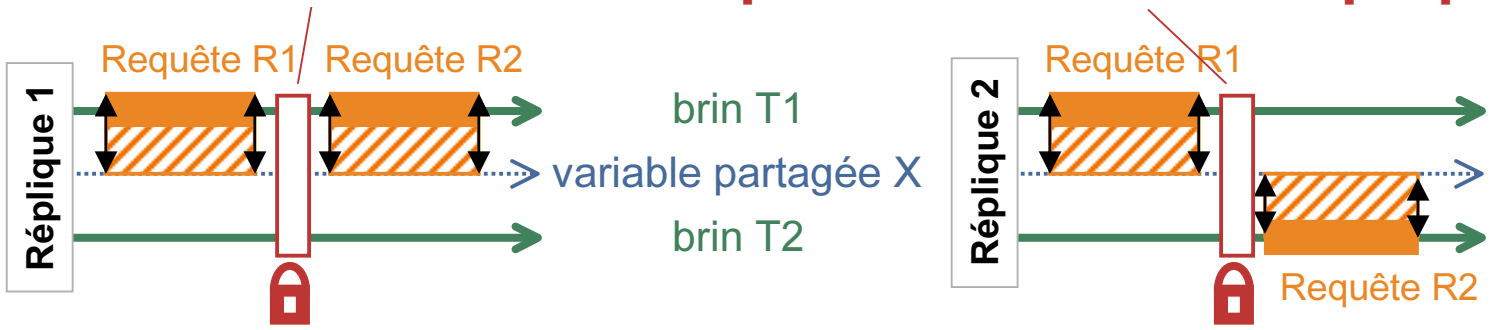
CORBA

OS

Réplication « intelligente »

- Utilisation des sémantiques intergicielle et applicative :
  - ➔ La réification de l'activité de l'intergiciel de de l'application donne sens à l'activité du système d'exploitation.
  - ➔ Utilisation **optimisée** des capacités réflexives de l'OS
- Exemple: réserve de brins
  - ➔ Savoir quel brin exécute quelle requête n'a pas d'importance.
  - ➔ Les deux exécutions suivantes sont équivalentes :

Cet ordonnancement n'a pas besoin d'être répliqué.



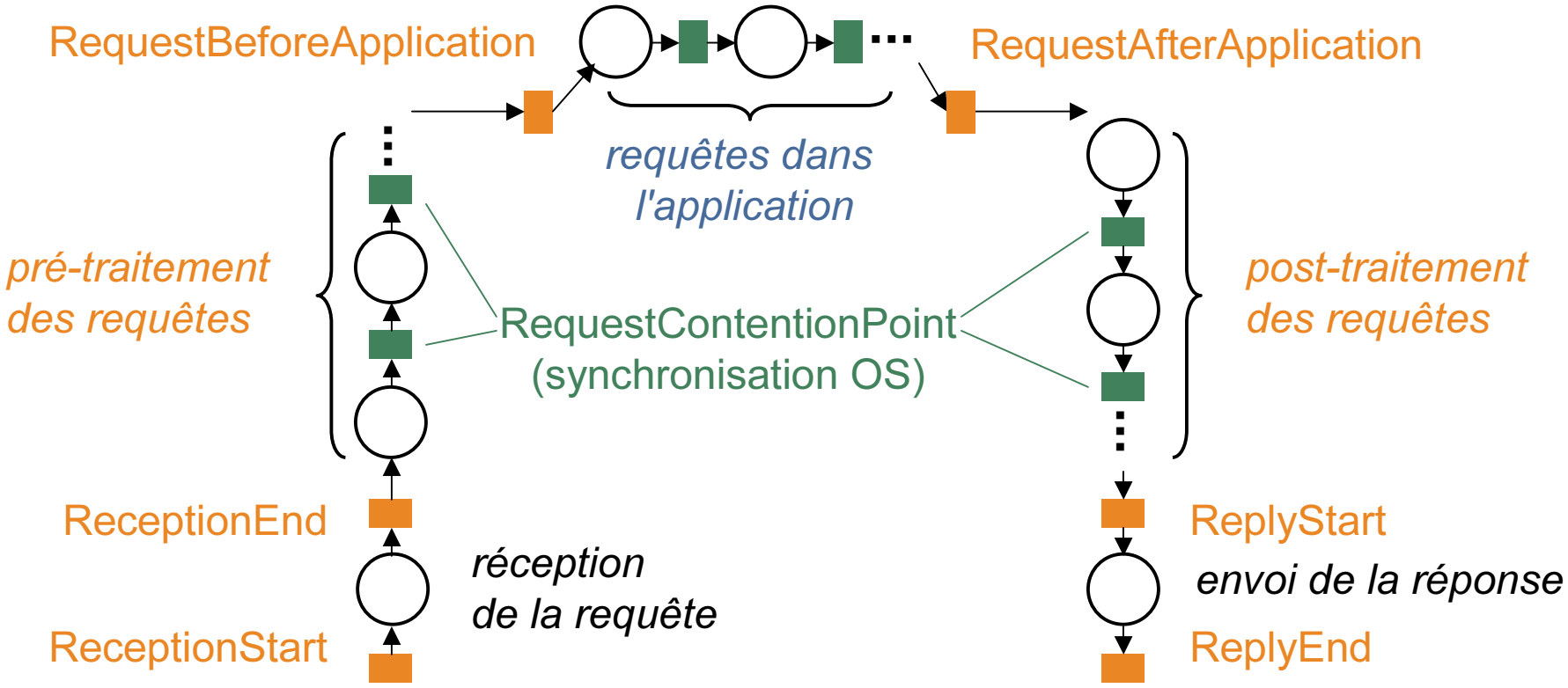
Appli

CORBA

OS

Le méta-modèle obtenu

- Structuré autour du cycle de vie d'une requête CORBA
  - ➔ Agrège les synchronisations OS au cycle de vie des requêtes



Appli

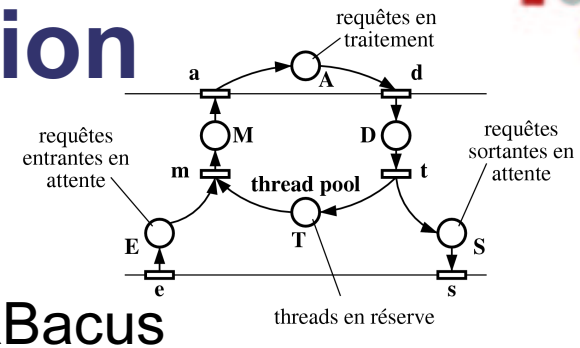
CORBA

OS

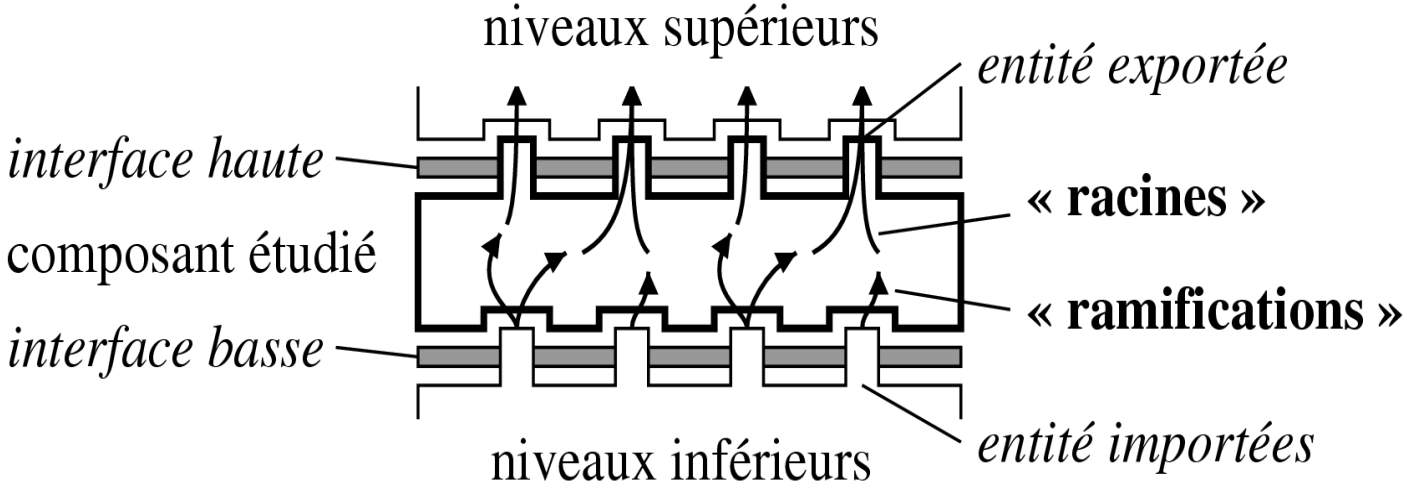
La méta-interface

```
class Request ;
class Thread ;
class StackChunk ;
class ReifiedEvent ;
class RequestLifeCycleEvent extends ReifiedEvent {
       public Request reifiedRequest ;
       public Thread reifyingThread ;
}
class BeginOfRequestReception        extends RequestLifeCycleEvent ;
class EndOfRequestReception          extends RequestLifeCycleEvent ;
class RequestBeforeApplication       extends RequestLifeCycleEvent ;
class RequestAfterApplication        extends RequestLifeCycleEvent ;
class BeginOfRequestResultSend       extends RequestLifeCycleEvent ;
class EndOfRequestResultSend         extends RequestLifeCycleEvent ;
class RequestContentionPoints        extends RequestLifeCycleEvent ;

class IntercessionCommand ;
class ContinueExecution              extends IntercessionCommand ;
class SkipCallToApplication          extends IntercessionCommand ;

interface MetaLevel {
       IntercessionCommand reifyEventToMetaSynchronous(ReifiedEvent e);
}
interface BaseLevel {
       State captureApplicationState ();
       void restoreApplicationState (State s);
       StackChunk captureApplicationStack (Thread t);
       void restoreApplicationStack (Thread t, StackChunk stack) ;
       void InjectRequestAtCommuncationLevel(Request r);
}
```

Instrumentation



- Le modèle d'analyse est générique.
- Instrumentation sur GNU/Linux – ORBacus
  - ➔ Requiert de relier les composants concrets au modèle générique.
  - ➔ Rétro-conception complexe : ORBacus = 110 000 LdCode
  - ➔ Activité d'abstraction (outil spécialisé, CosmOpen, *cf.* Annexe B)
  - ➔ Ciblage des interfaces : « racines » / « ramifications »

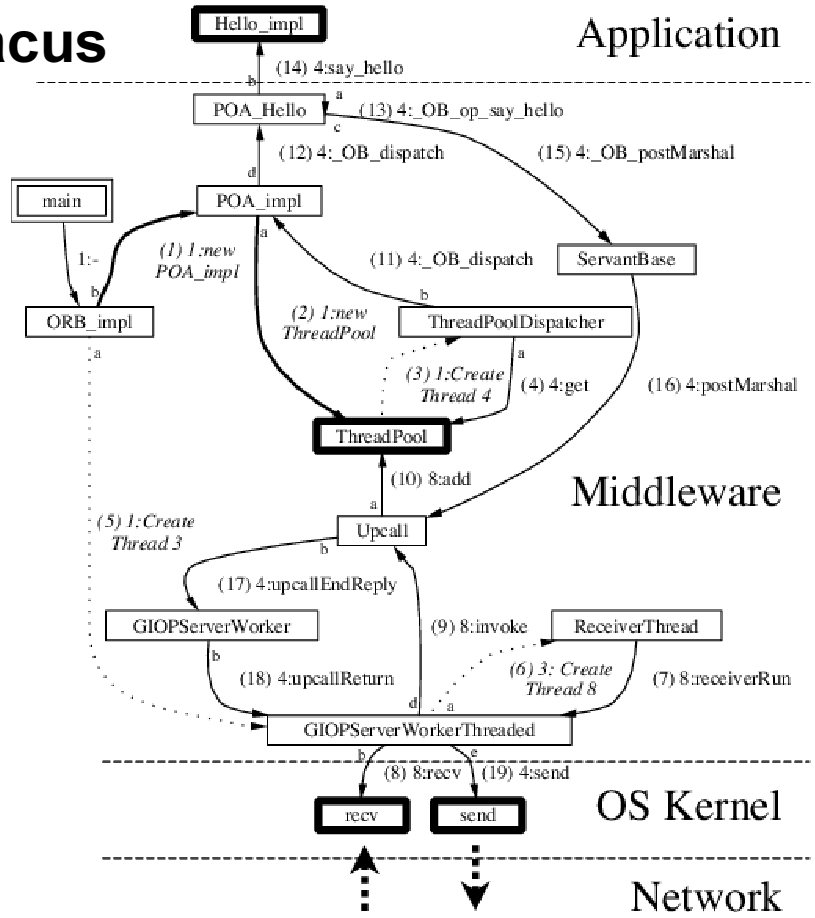


Notre appareil instrumental

- CosmOpen : Un outils d'analyse semi-automatique
  - ➔ Nous l'avons développé spécifiquement pour notre thèse.
  - ➔ Il est basé sur des opérations de manipulation de graphes.
  - ➔ Il permet des analyses structurelles & comportementales.
  - ➔ Il gère des graphes de très grandes tailles.
    - Trace ORBacus : 2066 appels enregistrés ⇨ **2066 nœuds**
  - ➔ Distribué librement : http://www.laas.fr/~ftaiani/7-software
- Composant de capture :
  - ➔ Capture structurelle : 4280 lignes C++ (avec Doxygen)
  - ➔ Capture comportementale : 1660 lignes C++ (avec gdb)
- Composant d'analyse : 17010 lignes en Java
- CosmOpen **22950** lignes de code

Instrumentation

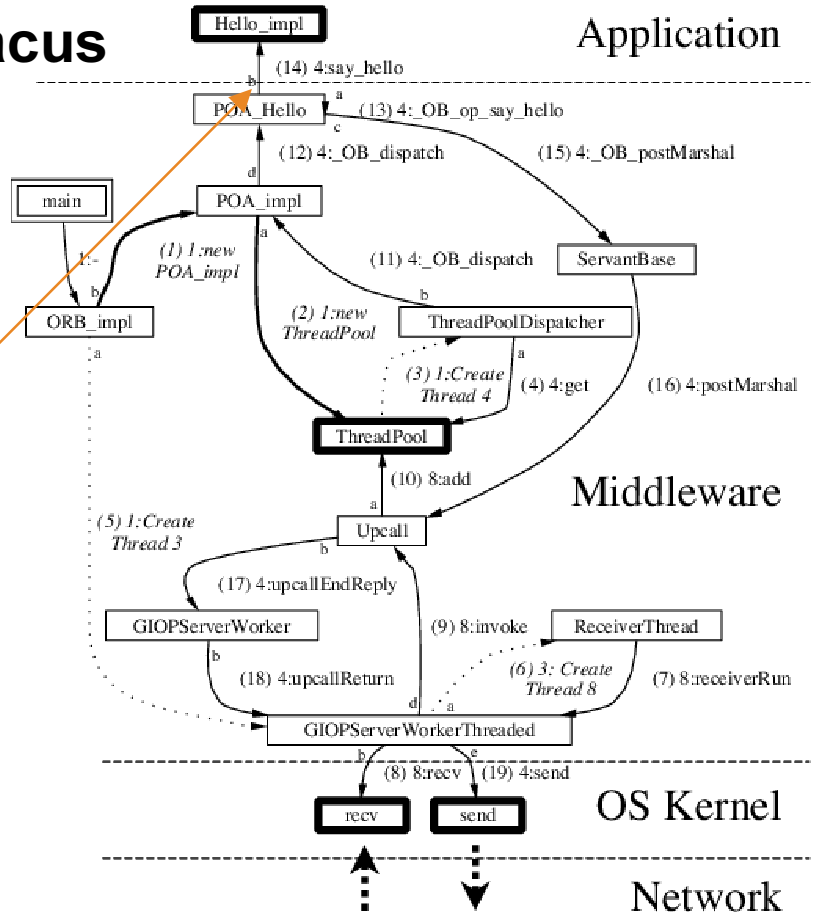
- Modèle comportemental **d'ORBacus**
  - ➔ fourni par **CosmOpen**
  - ➔ donne du sens aux actions de l'OS pour l'application et l'ORB
  - ➔ permet d'identifier les points d'instrumentation.



Instrumentation

- Modèle comportemental **d'ORBacus**
  - ➔ fourni par **CosmOpen**
  - ➔ donne du sens aux actions de l'OS pour l'application et l'ORB
  - ➔ permet d'identifier les points d'instrumentation.

RequestBeforeApplication

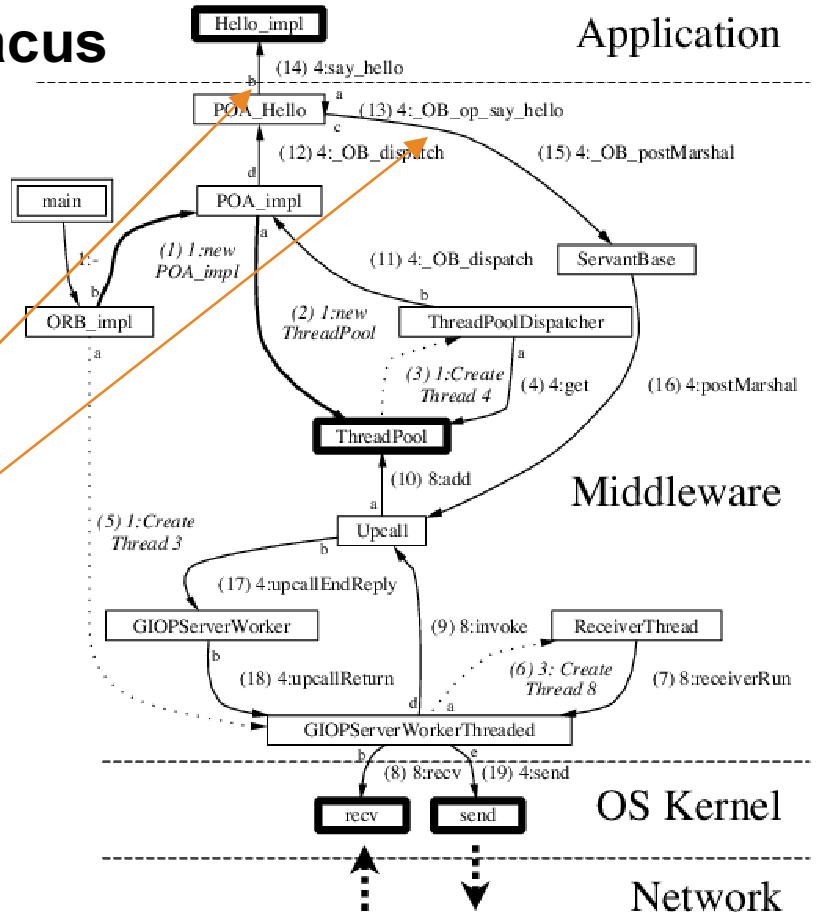


Instrumentation

- Modèle comportemental **d'ORBacus**
  - ➔ fourni par **CosmOpen**
  - ➔ donne du sens aux actions de l'OS pour l'application et l'ORB
  - ➔ permet d'identifier les points d'instrumentation.

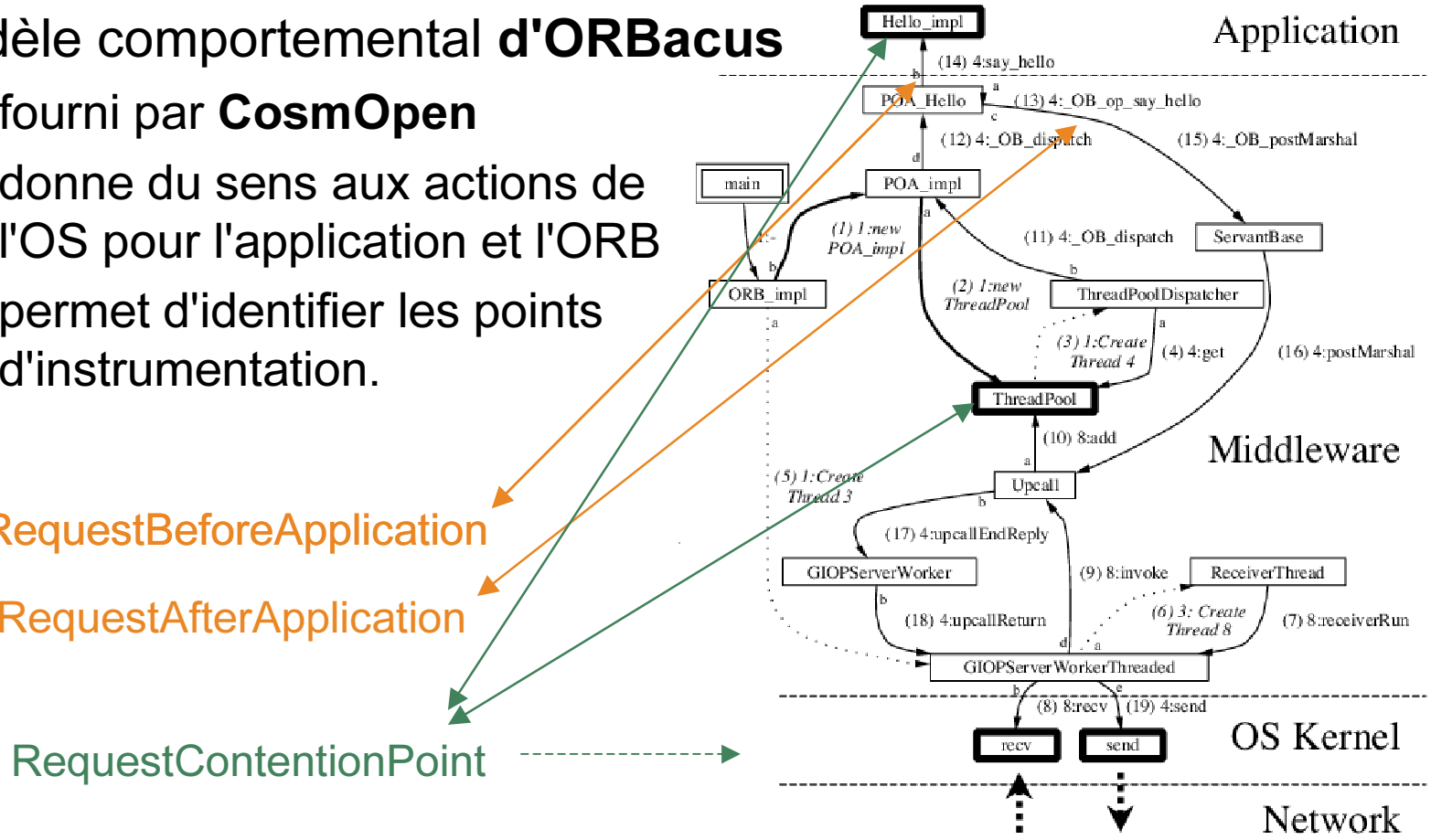
RequestBeforeApplication

RequestAfterApplication



Instrumentation

- Modèle comportemental **d'ORBacus**
  - ➔ fourni par **CosmOpen**
  - ➔ donne du sens aux actions de l'OS pour l'application et l'ORB
  - ➔ permet d'identifier les points d'instrumentation.



Instrumentation

- Bibliothèque OO générique d'interception OS
  - ➔ 6590 lignes en C++
  - ➔ classes pour intercepter verrous et connexions
    - MetaMutex, MetaSocket
  - ➔ supporte la transcendance par « talonnage » des brins
    - MetaThreadInfo, ThreadMetaMutex, ThreadMetaSocket
- Bibliothèque OO générique d'interception multi-niveaux
  - ➔ 1460 lignes en C++
  - ➔ utilise l'interception OS pour réaliser le méta-modèle
    - RequestContentionPoint, MetaRequestLifeCycle
- Instrumentation du code original d'ORBacus
  - ➔ Extrêmement peu intrusif : 20 lignes ajoutées
  - ➔ **0,02 % du code original**

Ce que nous a appris l'exemple

- La méta-interface obtenue est cohérente et homogène.
  - ➔ Elle gère le non-déterminisme et la capture d'état.
- Nous avons implanté la partie sur le non-déterminisme.
- **Efficace** : par exemple réplication de la synchronisation.
  Durant le traitement d'une requête dans ORBacus :
  - ➔ 203 opérations de synchronisation sont observées.
  - ➔ Seules 3 sont interceptées dans l'ORB (gain : x 67).
  - ➔ Notre analyse assure que ces 3 interceptions sont suffisantes pour assurer la cohérences de l'ORB.
- **Très peu intrusif** : 20 lignes modifiées sur 110 000
- **Réutilisable** : outil CosmOpen, bibliothèques génériques

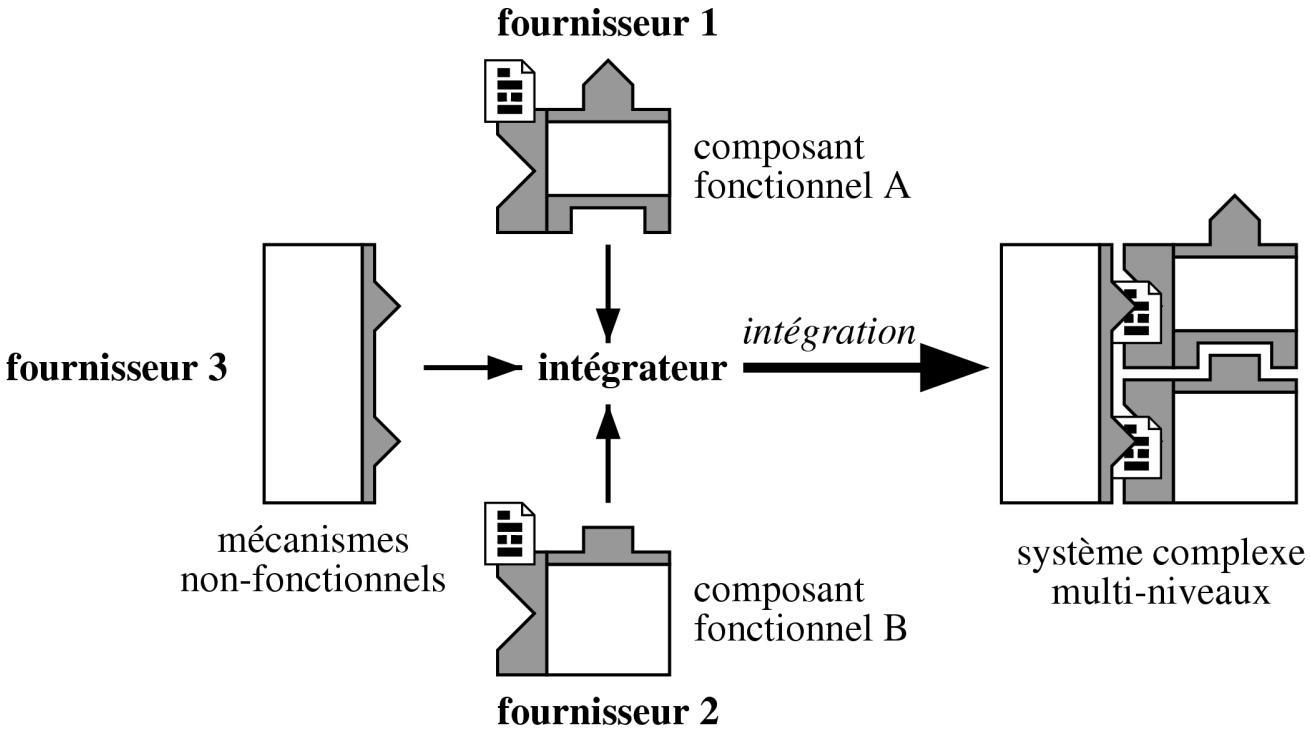
Conclusions

- La réalisation de la tolérance aux fautes transversale rentre en **conflit** avec les natures multi-composants & multi-couches des systèmes complexes utilisés aujourd'hui.
- Notre proposition pour lever ce conflit :
  La réflexivité multi-niveaux :
  - ➔ Combine des capacités d'action et d'observation des hautes et basses couches en une vision globale du système
- Nous avons validé cette proposition dans la pratique.
  - ➔ Analyse de composants industriels (GNU/Linux + Orbacus) par un outil de rétro-conception (CosmOpen)
  - ➔ Implantation d'une méta-interface pour la réplication sur une architecture POSIX / CORBA

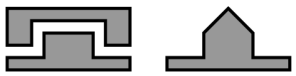
Perspectives

- Cette thèse est un premier pas.
- Pour aller plus loin : **nouveau modèle à composants**
- Renoncer à la stricte séparation interface / implémentation
- Ouverture partielle & maîtrisée par exportation d'un méta-modèle dans un format normalisé
- Déjà réalité pour certaines applications :
  - ➔ microélectronique : synthèse modulaire de circuits intégrés
  - ➔ sécurité informatique : codes mobiles porteurs de preuve

Notre vision

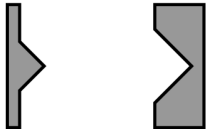


Légende :



interfaces fonctionnelles standardisées

méta-modèle décrivant le composant de façon standardisée



méta-interfaces génériques multi-niveaux

découverte en ligne des choix d'implémentation

Les algorithmes de TaF

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.
- Impact pour le praticien

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.
- Impact pour le praticien
  - ➔ Des capacités d'observation bon marché peuvent être utilisées.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.
- Impact pour le praticien
  - ➔ Des capacités d'observation bon marché peuvent être utilisées.
  - ➔ Mais les performances sont mauvaises.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.
- Impact pour le praticien
  - ➔ Des capacités d'observation bon marché peuvent être utilisées.
  - ➔ Mais les performances sont mauvaises.
  - ➔ Or dans un système complexe, le «floue» augmente.

Les algorithmes de TaF

- Ils tolèrent des capacités d'observation imparfaites.
  - ➔ Bcp. d'algorithmes garantissent des conditions de cohérence.
    - Exemple : capture d'état, synchronisation de messages
  - ➔ Ils contraignent le système parmi ses exécutions possibles.
    - Reprise depuis un état donné, ré-ordonnancement de messages
  - ➔ Le niveau de « contrainte » dépend des informations perçues.
  - ➔ Perception « floue » ⇨ déduction pessimiste
  - ➔ L'algorithme est peu efficace, mais reste correct.
- Impact pour le praticien
  - ➔ Des capacités d'observation bon marché peuvent être utilisées.
  - ➔ Mais les performances sont mauvaises.
  - ➔ Or dans un système complexe, le «floue» augmente.
  - ➔ Les performances deviennent inacceptables.