Modèles Evénementiels

Spécification et Validation de Programmes (SVP) - M2 STL 2016

Approches méthodologiques

Deux approches complémentaires de modélisation formelle :

1. **Approche ascendante**
   - Programmation : programme + tests
   - Spécification : propriétés du programme
   - Validation : preuve de propriété

   ⇒ **Coq** “classique” : fonctions récursives → preuves inductives

2. **Approche descendante**
   - Spécification : modèle formel d’un système
   - Programmation : implantation de la spécification
   - Validation : preuve que l’implantation respecte la spec.

   ⇒ **méthodes formelles :** Z, VDM, B, **Event B**, ASM, etc.

Event B

Source : event-b.org

“Event-B is a formal method for system-level modelling and analysis. Key features of Event-B are the use of set theory as a modelling notation, the use of refinement to represent systems at different abstraction levels and the use of mathematical proof to verify consistency between refinement levels.”

Environnements :

- **Atelier B** (plutôt B “classique”)
  ⇒ Clearsy (commercial, gratuit) : www.atelierb.eu
- **Rodin platform** (Event B)
  ⇒ Consortium Deploy (logiciel libre) : event-b.org

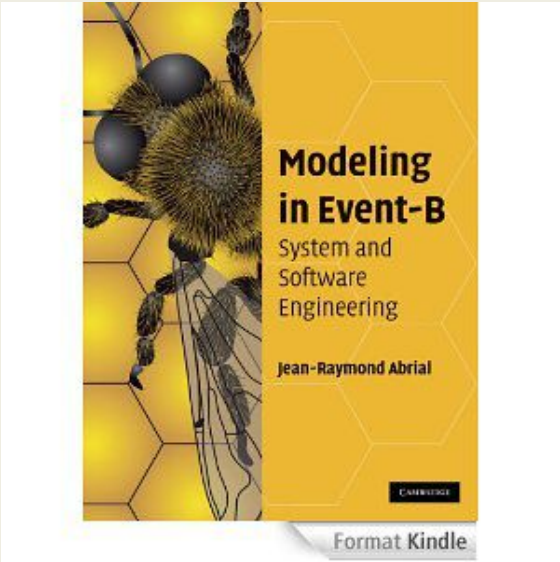
B dans l’industrie

Quelques usages industriels :

- B “classique”
  - RATP (Meteor, etc.), Alstom, Siemens, etc.
    cf. www.atelierb.eu/en/industrial-references-for-atelier-b/
- Event B
  - Bosch, Siemens, SAP, etc.
    cf. wiki.event-b.org/index.php/Industrial_Projects

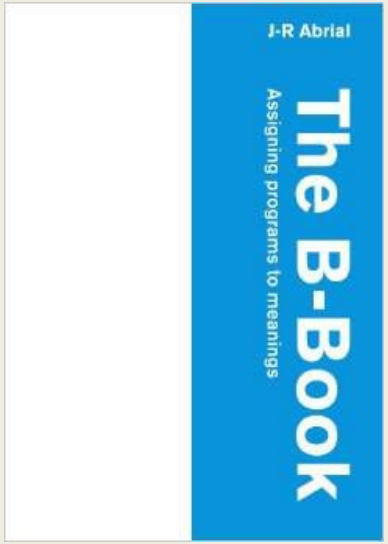
Littérature

Event B



Modeling in Event - B
Jean-Raymond Abrial
© 2010 Cambridge University Press

B classique



The B-Book
Jean-Raymond Abrial
© 2005 Cambridge University Press

Dans ce cours ...

Event B “light”

- Machines indépendantes (pas de composition)
- Théorie des types vs. Théorie des ensembles
- Raffinement “manuel” (cf. prochains cours)

Environnement

- Encodage des machines en Coq
- Obligations de preuves (PO) “manuelles”
- Démonstration assistée des PO en Coq

Event B “light” : concepts

Event B est un langage de spécification

Objectif : à partir d’un cahier des charges informel, spécifier de manière formelle un système (logiciel/matériel/mixte) et son environnement.

⇒ *Closed system modeling*

Une spécification contient :

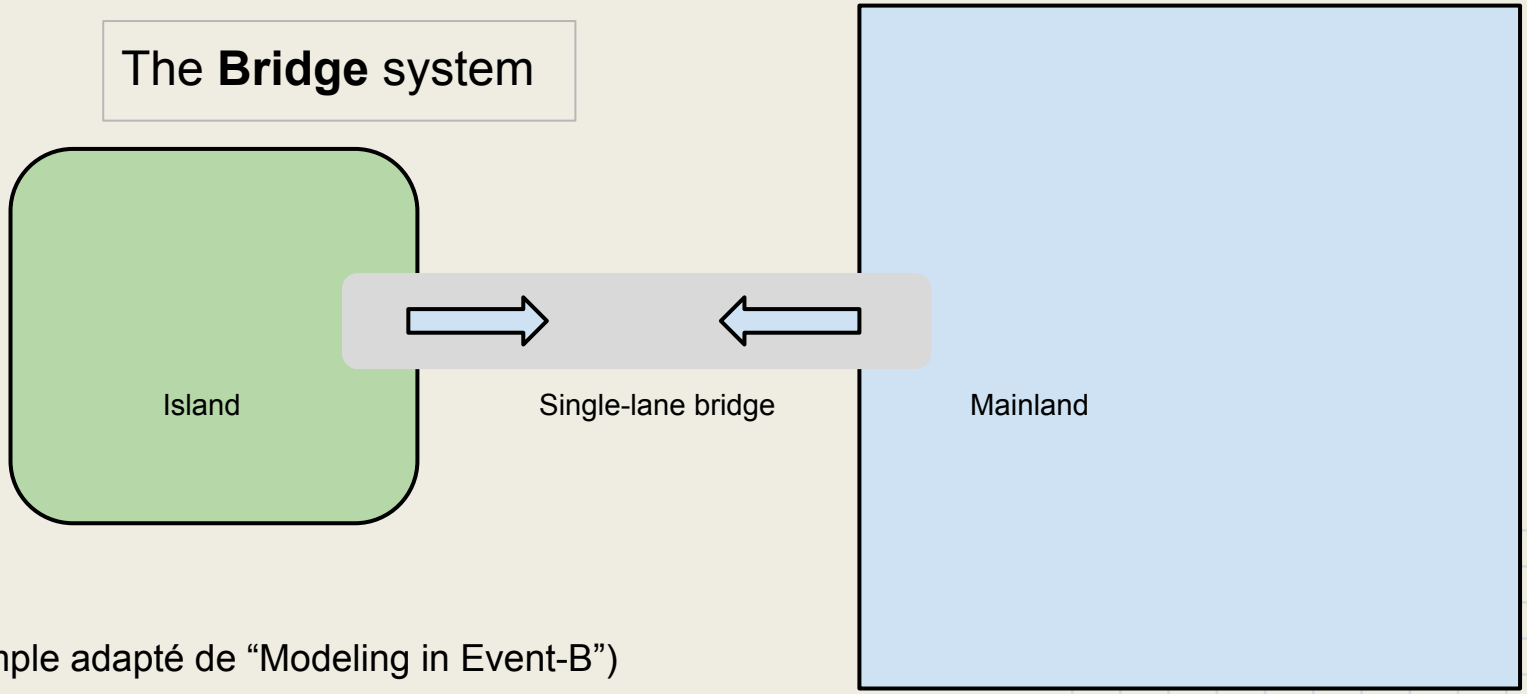
- une partie statique : le **contexte**
- une partie dynamique : la **machine** (abstraite/concrète)

Spécification Coq

```
Module <Nom de la spécification>.

Module Context.

<spécification du contexte>

End Context.

<spécification de la machine>

End <Nom de la spécification>.
```

Étude de cas

Pour illustrer les concepts : on considère un système très simple.



(exemple adapté de “Modeling in Event-B”)

Le contexte

Contexte = partie statique du système

- **Constantes**
  - paramètre(s) du système
- **Axiomes**
  - propriétés statiques sur les constantes

Contexte en Coq

```
Module Context.

(* constante *)
Parameter <nom de la constante> : <type>.

...

(* axiome *)
Axiom <nom de l'axiome> : <proposition>.

...

End Context.
```

Structure d’une machine

⇒ La **machine** (abstraite/concrète) exprime la dynamique du système.

Une machine B est spécifiée par :

- un état
  - **variables** d’état
- des invariants d’état
- des événements comprenant :
  - une **garde** : condition d’application de l’événement
  - une **action** : description d’un changement d’état
- des preuves de propriétés
  - guidées par des **obligations de preuves** (**PO**)

État d’une machine en Coq

```
Record State : Set := mkState {

  (* variable *)
  <nom de la variable> : <type>.

  ...

}
```

Invariants (d’état)

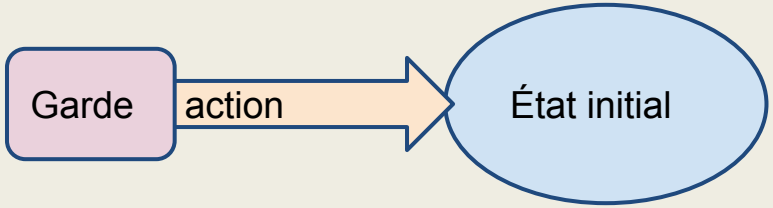
Un **invariant** (d’état) exprime une propriété importante devant être toujours vérifiée par l’état de la machine.

En Coq :

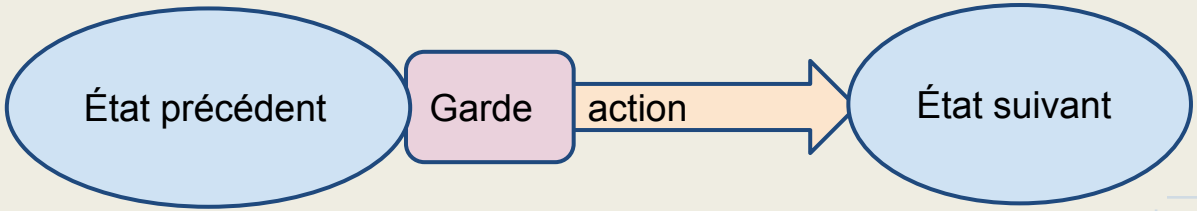
```
Definition Inv_<id numérique> (<état>:State) : Prop :=
      <proposition invariante sur l’état>.
```

Évènements

- Construction d'un état initial de la machine
  ⇒ **événement d'initialisation**



- Changement d'état
  ⇒ **événement de transition**



Initialisations en Coq

Évènement d'initialisation : description d'un état initial

```
Module <Nom de l'événement>.   (* généralement : Init *)

Definition Guard <paramètres> : Prop :=
      <proposition de garde>.

Definition action <paramètres> : State :=
      <définition de l'action : construction de l'état initial>.

<obligations de preuves (PO)>

End <nom de l'événement>.
```

Remarques : ① l'action d'initialisation s'applique sous l'hypothèse de la garde.
② la garde et l'action ont les mêmes paramètres

Transitions en Coq

Évènement de transition : description d'un changement d'état atomique :

```
Module <Nom de l'événement>.

Definition Guard (<état précédent> : State) <autres paramètres> : Prop :=
      <proposition de garde>.

Definition action (<état précédent> : State) <autres paramètres> : State :=
      <définition de l'action : construction de l'état suivant>.

<obligations de preuves (PO)>

End <nom de l'événement>.
```

Remarques : ① l'action de transition s'applique sous l'hypothèse de la garde.
② la garde et l'action ont les mêmes paramètres
③ la garde peut exploiter toute la logique de Coq

Obligations de preuves (PO)

La spécification d'un événement induit des obligations de preuves.

- Sûreté : **Safety PO** (obligatoire, initialisation ou transition)
  - un état construit est correct ⇒ les invariants sont vérifiés.
- Fairness : **Convergence PO** (optionnelle, transition)
  - un événement convergent ne peut être appliqué indéfiniment.
- Vivacité : **Deadlock Freedom PO** (optionnelle, globale)
  - pour tout état au moins un événement est applicable.

Remarque : les constantes et axiomes du contexte sont des hypothèses implicites des POs.

Safety PO : initialisation

```
Definition Guard (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.

Theorem PO_Safety:
  (* paramètres *)
  forall p1 : T1, …, forall pN : TN,
    (* Garde *)
    Guard p1 … pN
    -> (* état initial *)
       let S := action p1 … pN
       in
          >>>???<<<
Proof.
```

Safety PO : initialisation

```
Definition Guard (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.

Theorem PO_Safety:
  (* paramètres *)
  forall p1 : T1, …, forall pN : TN,
    (* Garde *)
    Guard p1 … pN
    -> (* état initial *)
       let S := action p1 … pN
       in (* Invariants *)
          Inv_1 S  /\ … /\ Inv_M S.
Proof.
```

Safety PO : transition

```
Definition Guard (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.

Theorem PO_Safety:
  (* état précédent *)
  forall S : State,
  (* paramètres *)
  forall p1 : T1, …, forall pN : TN,
    (* Invariants pre *)
    Inv_1 S  -> … ->  Inv_M S
    -> (* Garde *)
       Guard S p1 … pN
       -> (* état suivant *)
          let S’ := action S p1 … pN
          in
             >>>???<<<
Proof.
```

Safety PO : transition

```
Definition Guard (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.

Theorem PO_Safety:
  (* état précédent *)
  forall S : State,
  (* paramètres *)
  forall p1 : T1, …, forall pN : TN,
    (* Invariants pre *)
    Inv_1 S  -> … ->  Inv_M S
    -> (* Garde *)
       Guard S p1 … pN
       -> (* état suivant *)
          let S’ := action S p1 … pN
          in (* Invariants post *)
             Inv_1 S’  /\ … /\ Inv_M S’.
Proof.
```

Convergence PO (Optionnelle)

Convergence d'un événement de transition :

- l'événement ne peut s'appliquer indéfiniment dans un état donné

Preuve de convergence :

- Définition d'un **variant** d'état pour la transition
  - Mesure définie sur un ordre strict bien fondé
    ⇒ exemple : (nat, <)
  - Synthétisé à partir d'un état de la machine

- Preuve de **décroissance stricte du variant** durant la transition
  ⇒ variant *<état suivant>* < variant *<état précédent>*

Convergence PO en Coq

```
Definition Guard (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (S:State) (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.
Definition variant (S:State) : nat := <expr>.

Theorem PO_Convergence:
  (* état précédent *)
  forall S : State,
  (* paramètres *)
  forall p1 : T1, …, forall pN : TN,
    (* Invariants pre *)
    Inv_1 S  -> … ->  Inv_M S
    -> (* Garde *)
       Guard S p1 … pN
       -> (* état suivant *)
          let S’ := action S p1 … pN
          in (* Invariants post *)
             variant S’ < variant S.
Proof.
```

Deadlock Freedom

PO optionnelle de la machine :
⇒ dans tout état au moins une transition est possible.

Preuve de Deadlock Freedom:

- Soit un état S quelconque,
  - En supposant les invariants d'état de la machine (et implicitement les axiomes)

⇒ montrer que la disjonction des gardes de tous les événements est vraie.

Deadlock Freedom en Coq

```
Definition Guard (p1:T1) … (pN:TN) : Prop := <prop>.
Definition action (p1:T1) … (pN:TN) : State := <expr>.


Theorem PO_Deadlock_Freedom:
  (* état *)
  forall S : State,
  (* invariants *)
  Inv_1 S  -> … -> Inv_M S,
    (* Disjonction des gards *)
    -> Event1.Guard S \/ … \/ EventN.Guard S
Proof.
```

Remarque : en général la preuve est une décomposition par cas non-triviale.

… to be continued

Prochain cours :

Approche descendante itérative

⇒ **Raffinement** de machine