

Intelligence artificielle

Systemes experts

Matthieu Basseur

Université du Littoral Côte d'Opale

matthieu.basseur@univ-littoral.fr
<https://sites.google.com/view/matthieu-basseur>

Logique des propositions

■ Syntaxe

• Proposition

- Calais est dans les hauts de France (Vrai)
- Calais a plus de 100000 habitants (Faux)
- Une proposition a une valeur de vérité Vrai ou Faux

• Connecteurs logiques

\wedge	\vee	\neg	\Rightarrow	\Leftrightarrow
ET	OU	NON	IMPLIQUE	EQUIVALENT

• Formule (propositions connectées suivant des règles)

- Ex : A, B, C et D sont des propositions
- Formule : $(A \wedge \neg B) \vee D \Rightarrow C$

■ Sémantique : table de vérité (interprétation des formules)

A	B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$\neg A$	$A \Rightarrow B$	$A \Leftrightarrow B$
F	F	F	F	V	V	V
F	V	F	V	V	V	F
V	F	F	V	F	F	F
V	V	V	V	F	V	V

Logique des propositions

■ Équivalences :

- $\neg(\neg A) \Leftrightarrow A$
- $A \Rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \vee B$
- $\neg(A \wedge B) \Leftrightarrow \neg A \vee \neg B$ (lois de Morgan)
- $\neg(A \vee B) \Leftrightarrow \neg A \wedge \neg B$ (lois de Morgan)
- $(A \wedge B) \vee C \Leftrightarrow (A \vee C) \wedge (B \vee C)$ (distributivité)
- $(A \vee B) \wedge C \Leftrightarrow (A \wedge C) \vee (B \wedge C)$ (distributivité)
- $A \vee B \Leftrightarrow B \vee A$ (commutativité)
- $A \wedge B \Leftrightarrow B \wedge A$ (commutativité)
- $(A \wedge B) \wedge C \Leftrightarrow A \wedge (B \wedge C)$ (associativité)
- $(A \vee B) \vee C \Leftrightarrow A \vee (B \vee C)$ (associativité)
- $A \Rightarrow B \Leftrightarrow \neg B \Rightarrow \neg A$ (contraposée)

■ Règles d'inférences

- Si A est vrai et $A \Rightarrow B$ alors B est vrai (**Modus ponens**). Noté : $A, (A \Rightarrow B) \vdash B$
- Si B est faux et $A \Rightarrow B$ alors A est faux (**Modus tollens**). Noté : $\neg B, (A \Rightarrow B) \vdash \neg A$
- Si $A \Rightarrow B$ et $B \Rightarrow C$ alors $A \Rightarrow C$ (**enchaînement**). Noté : $A \Rightarrow B, B \Rightarrow C \vdash A \Rightarrow C$

Systèmes experts

- Base de connaissances
 - Règles d'inférence
 - Faits connus
 - **Raisonnement logique** pour obtenir des conclusions (moteur d'inférence)

Base de règles

```
SI A ALORS B
SI C ET D ALORS E
SI B ET F ET G ALORS H
SI A ET P ALORS C
SI D ET E ALORS H
SI C ET age>6 ALORS I
SI J ET K ALORS F
SI G ET J ET F ALORS K
SI T ET B ALORS P
SI K ALORS J
SI F ET E ALORS L
SI C ET F ET J ALORS M
SI G ET L ALORS C
SI I ET E ALORS F
```

Faits

```
A = VRAI
B = VRAI
C = FAUX
T = VRAI
age = 12
```

But

```
K ?
```

➔ Présentation rapide

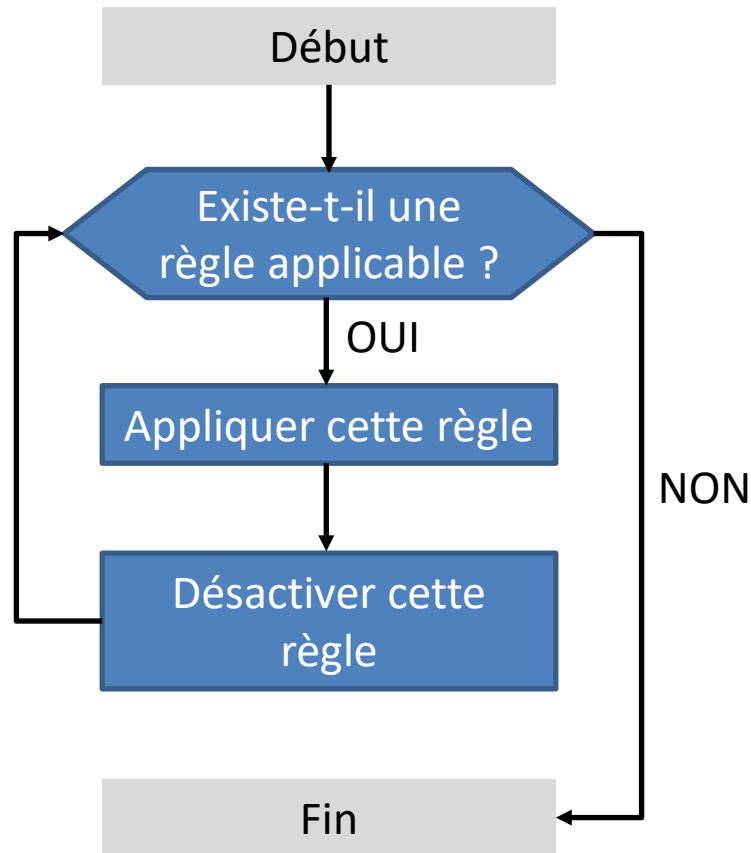
Chaînage avant (exemple)

- Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, D



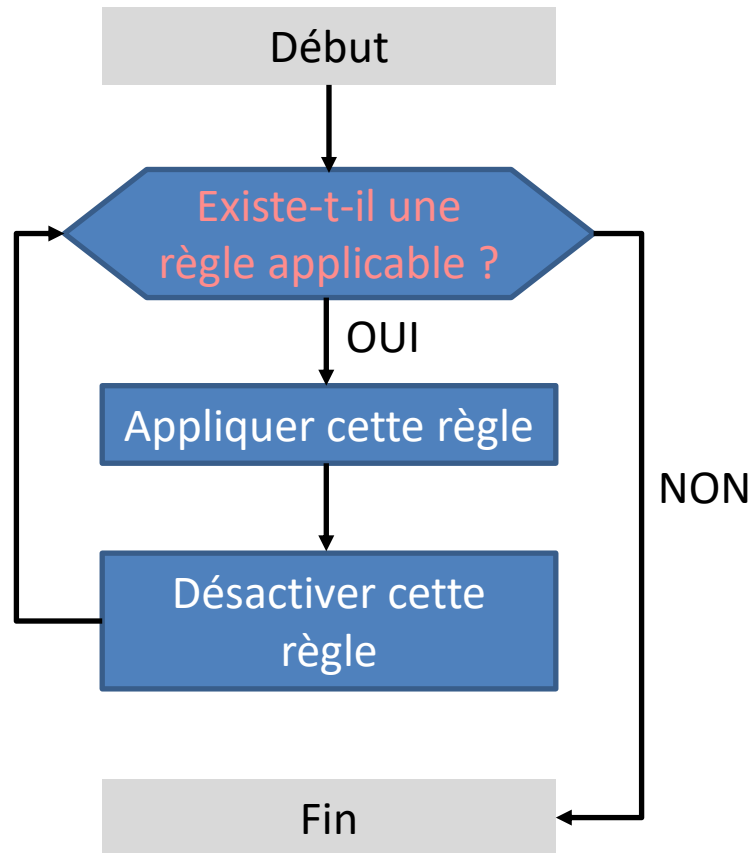
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D



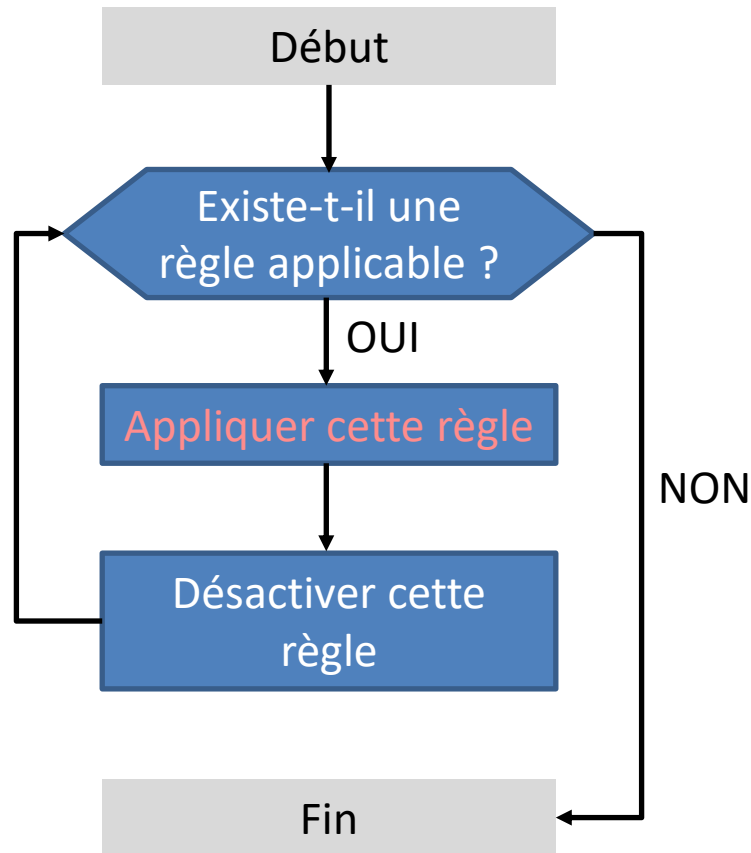
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H



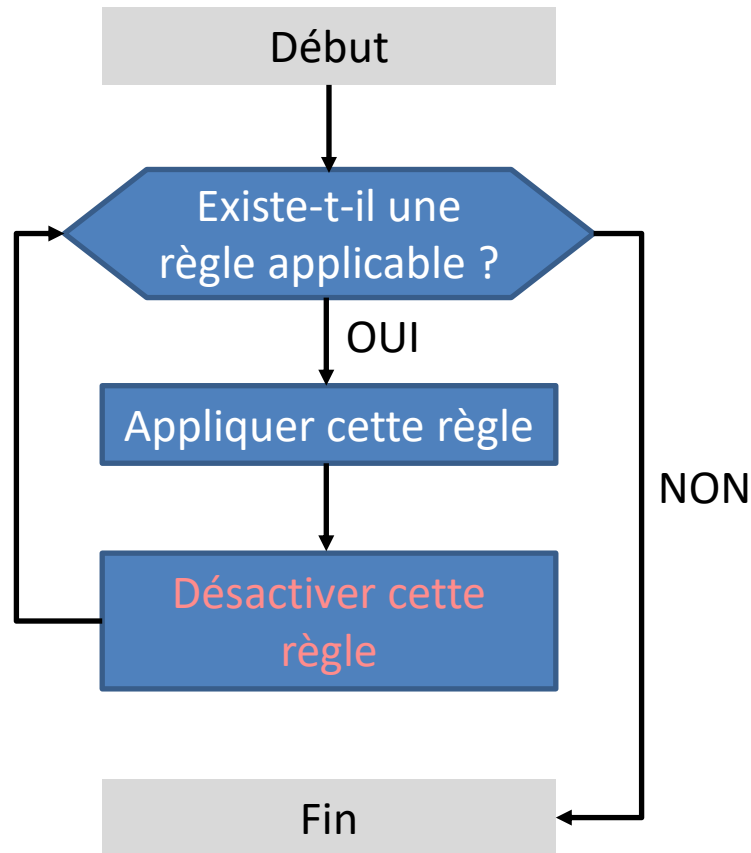
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H



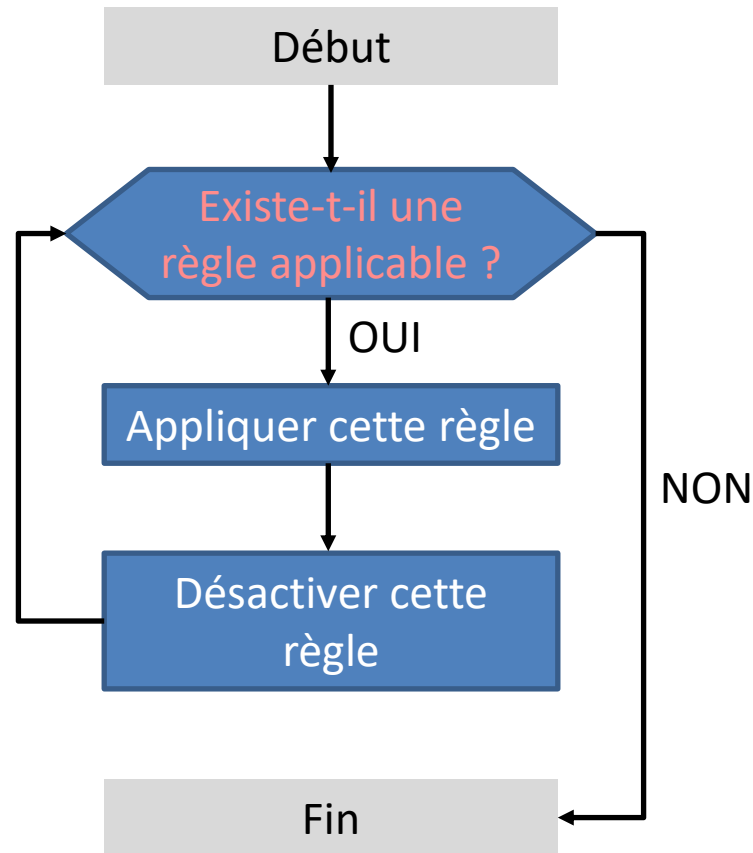
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H



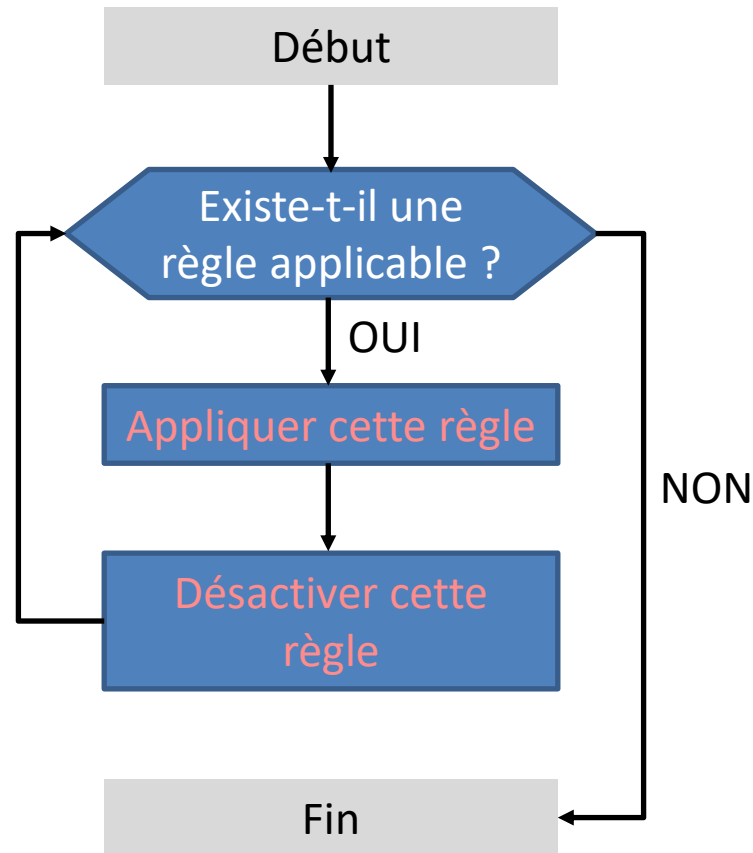
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C



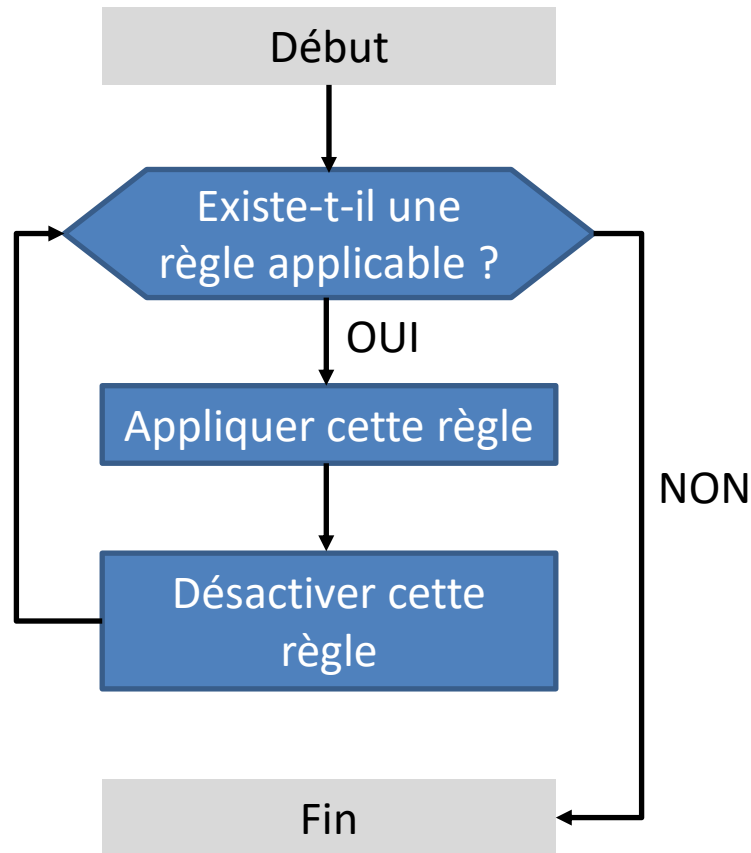
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C, G



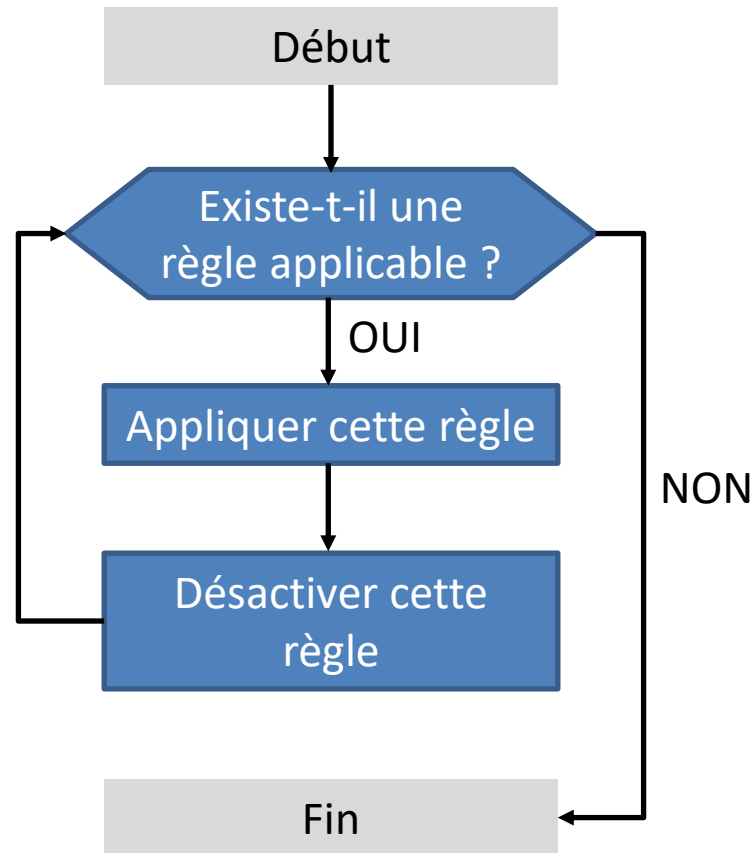
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C, G, K



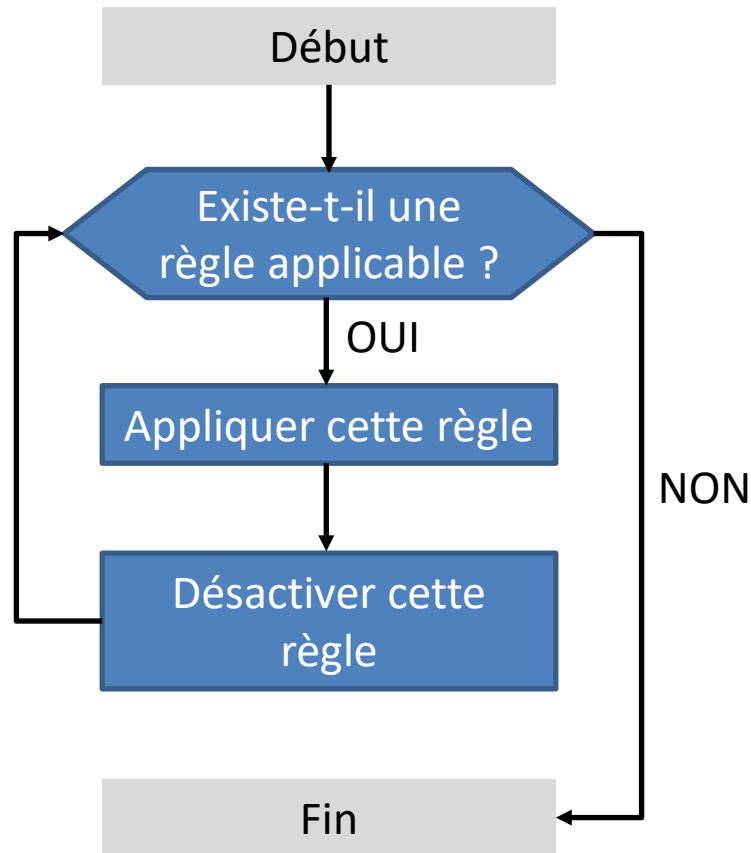
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C, G, K, **F**



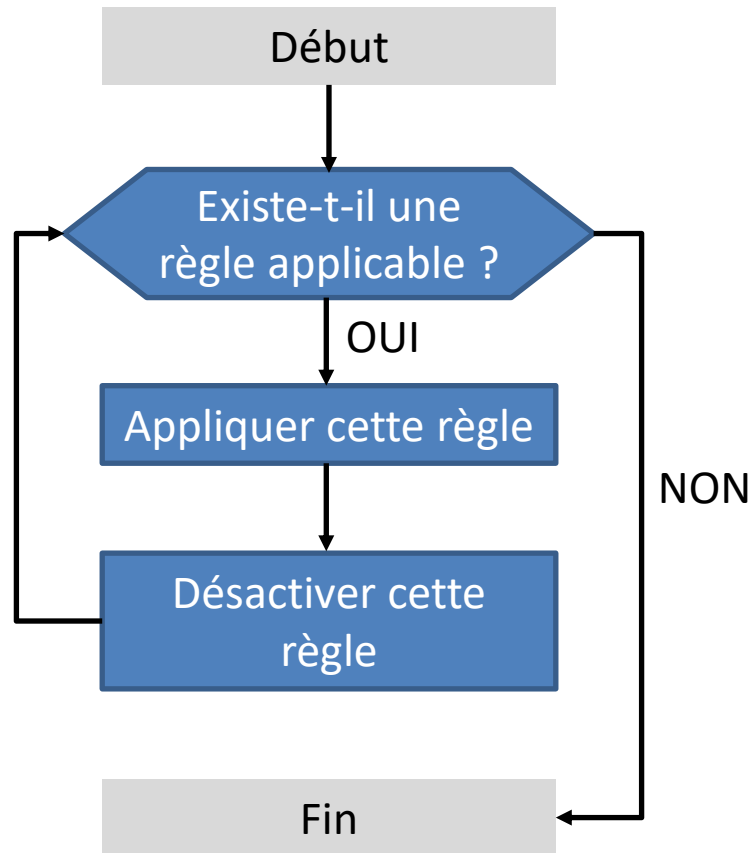
Chaînage avant (exemple)

- Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, D, H, C, G, K, F, J



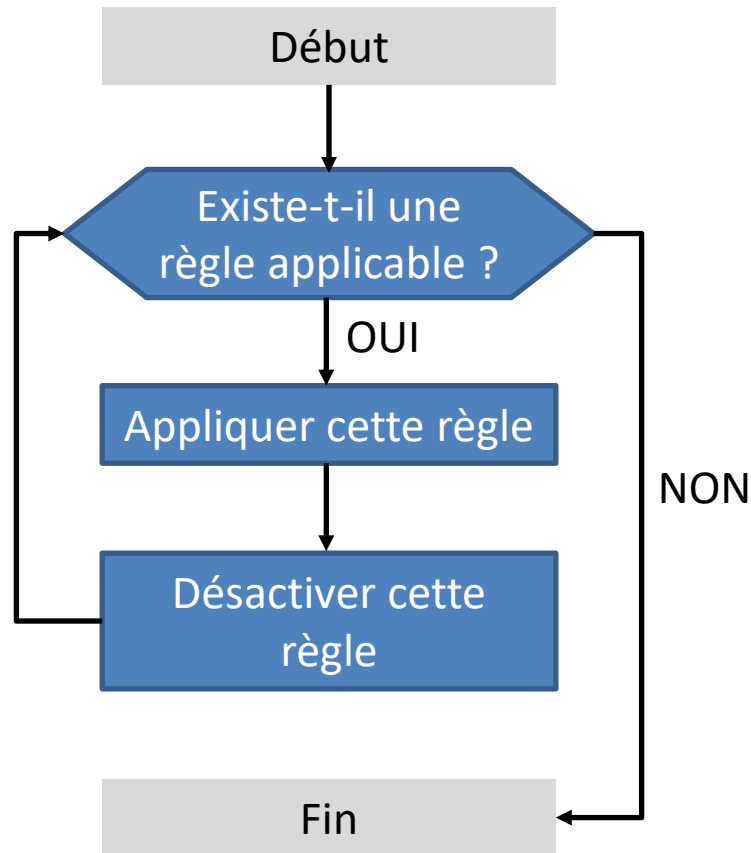
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C, G, K, F, J, E



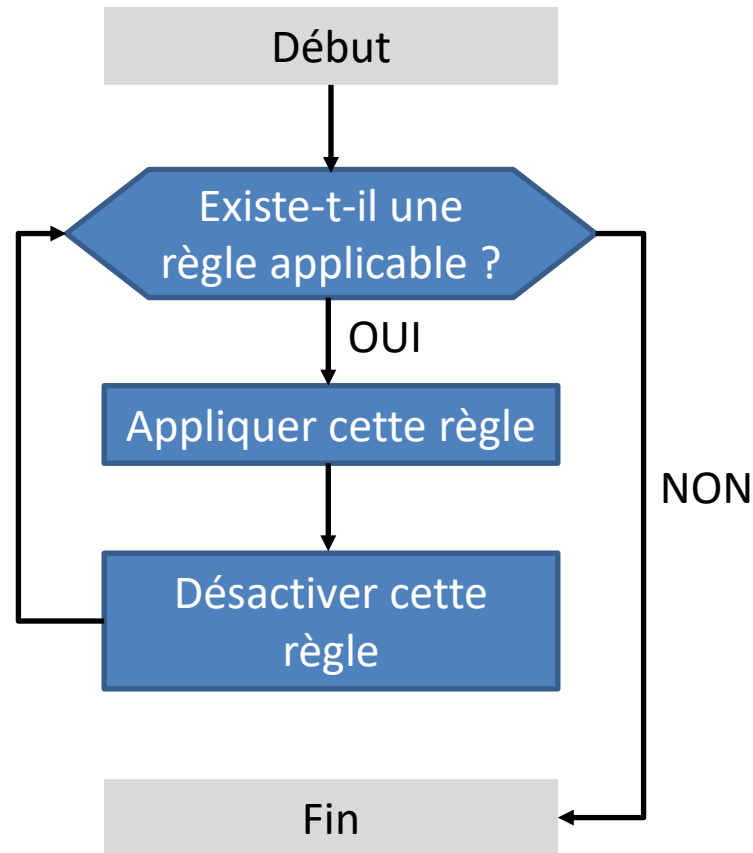
Chaînage avant (exemple)

■ Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, D, H, C, G, K, F, J, E, I



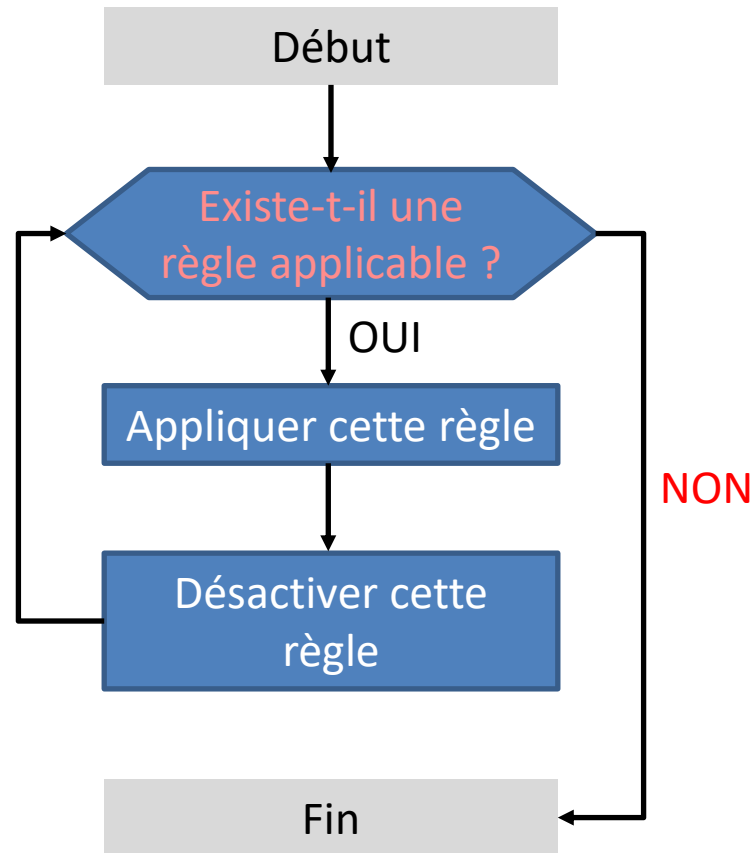
Chaînage avant (exemple)

- Base de règles :

- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, D, H, C, G, K, F, J, E, I



Chaînage avant (exemple)

- Base de règles :

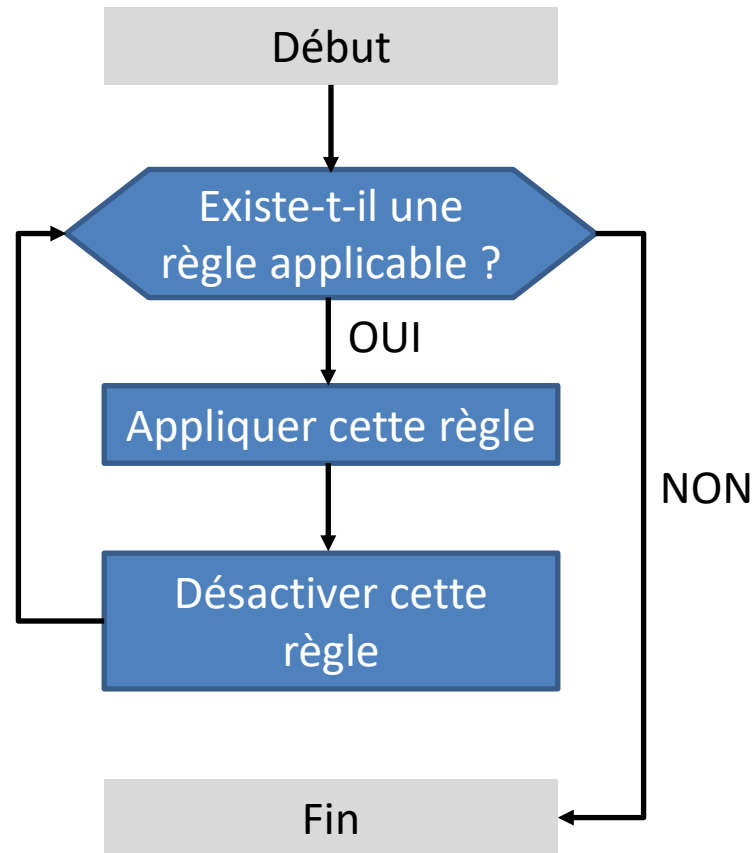
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, D

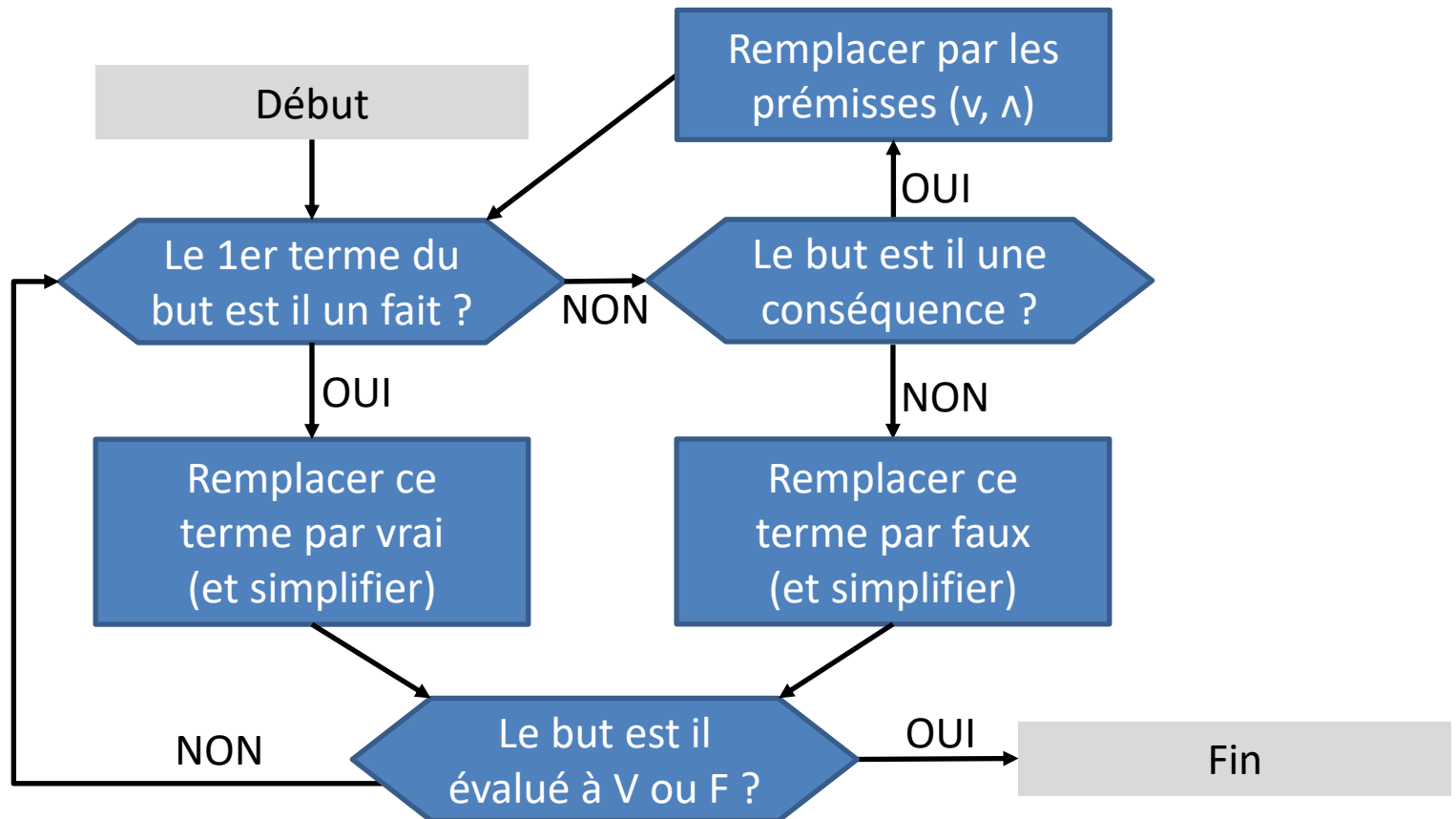
- Même processus (exercice)

- Base de faits différente : A, D



Chaînage arrière

- **Principe** : On recherche les connaissances nécessaires à la **preuve d'un but** donné.
 - On considère les règles qui ont le but pour conclusion
 - si la condition de l'une de ces règles est vérifiée alors succès
 - sinon les prémisses inconnues deviennent les nouveaux (sous-)buts



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

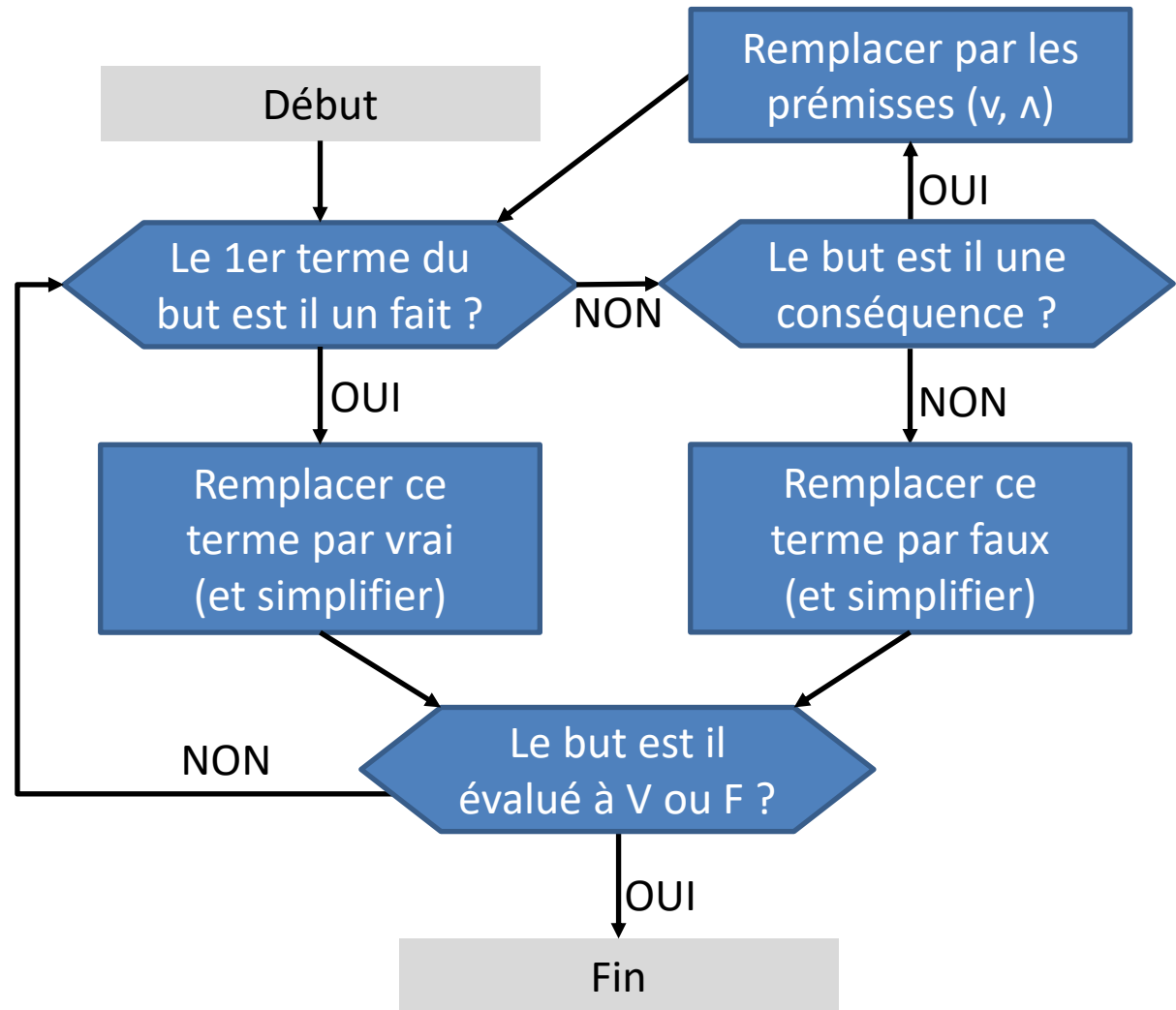
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- J ?



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

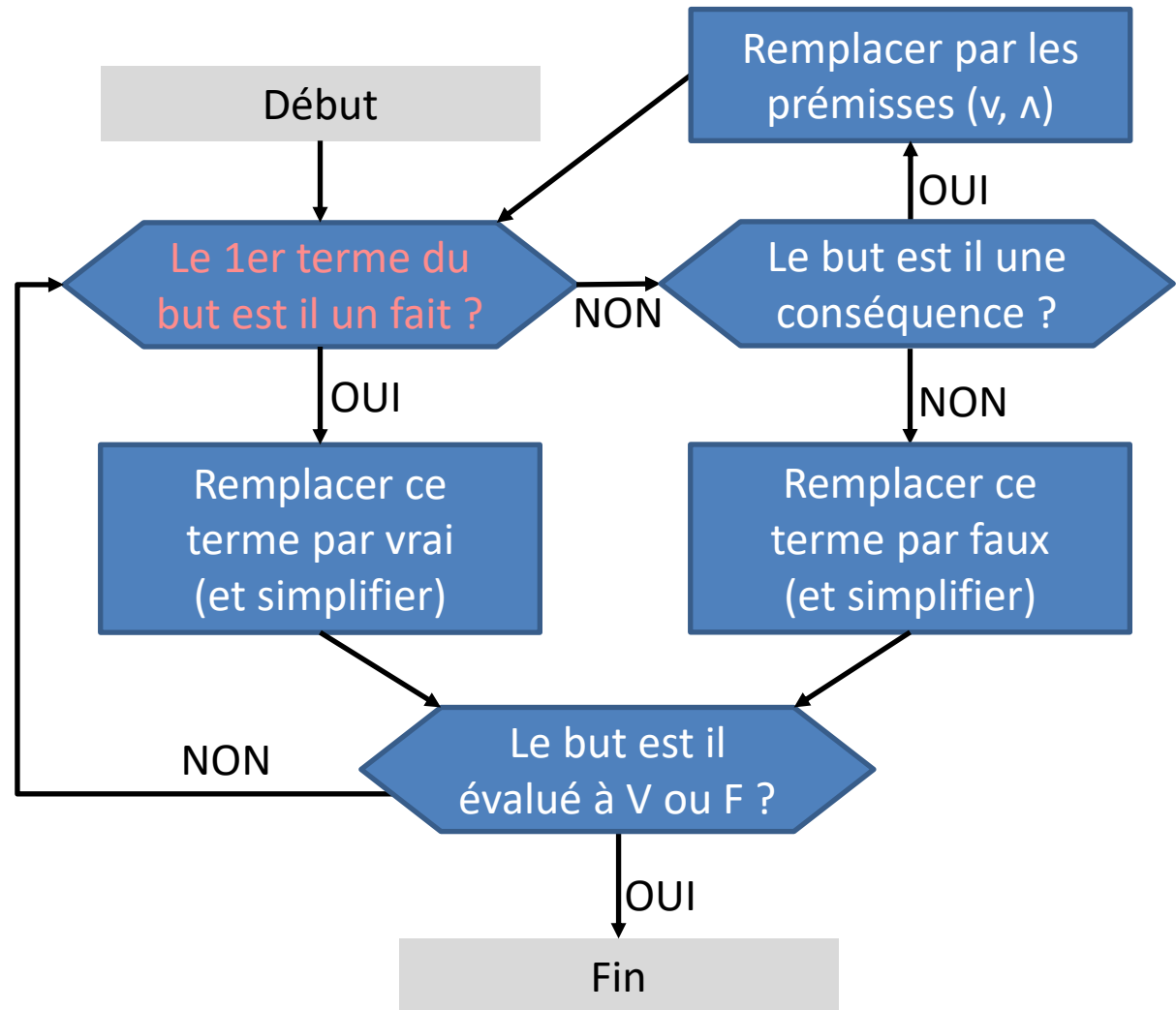
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- J ?



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

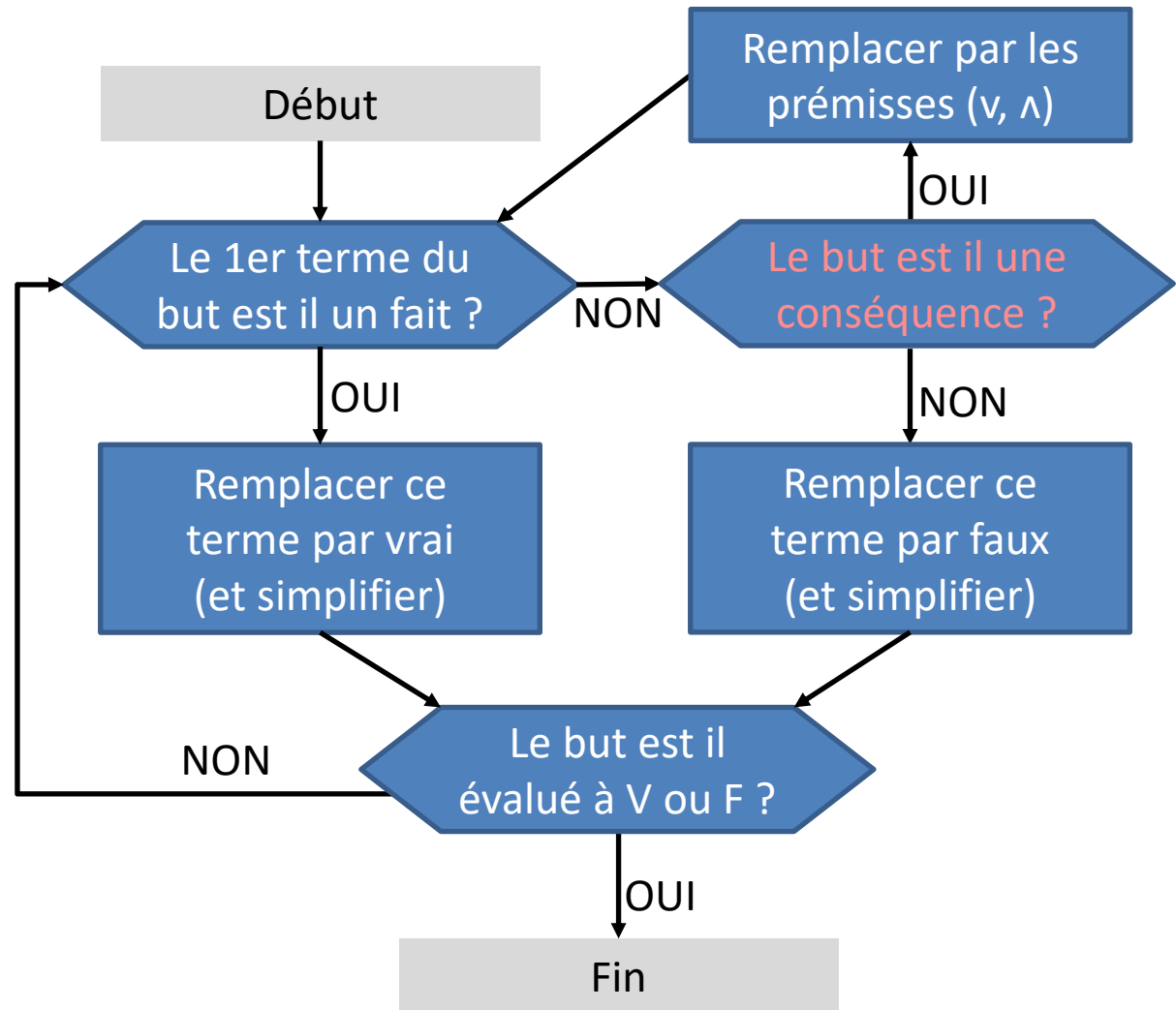
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- J ?



Chaînage arrière (exemple)

■ Base de règles :

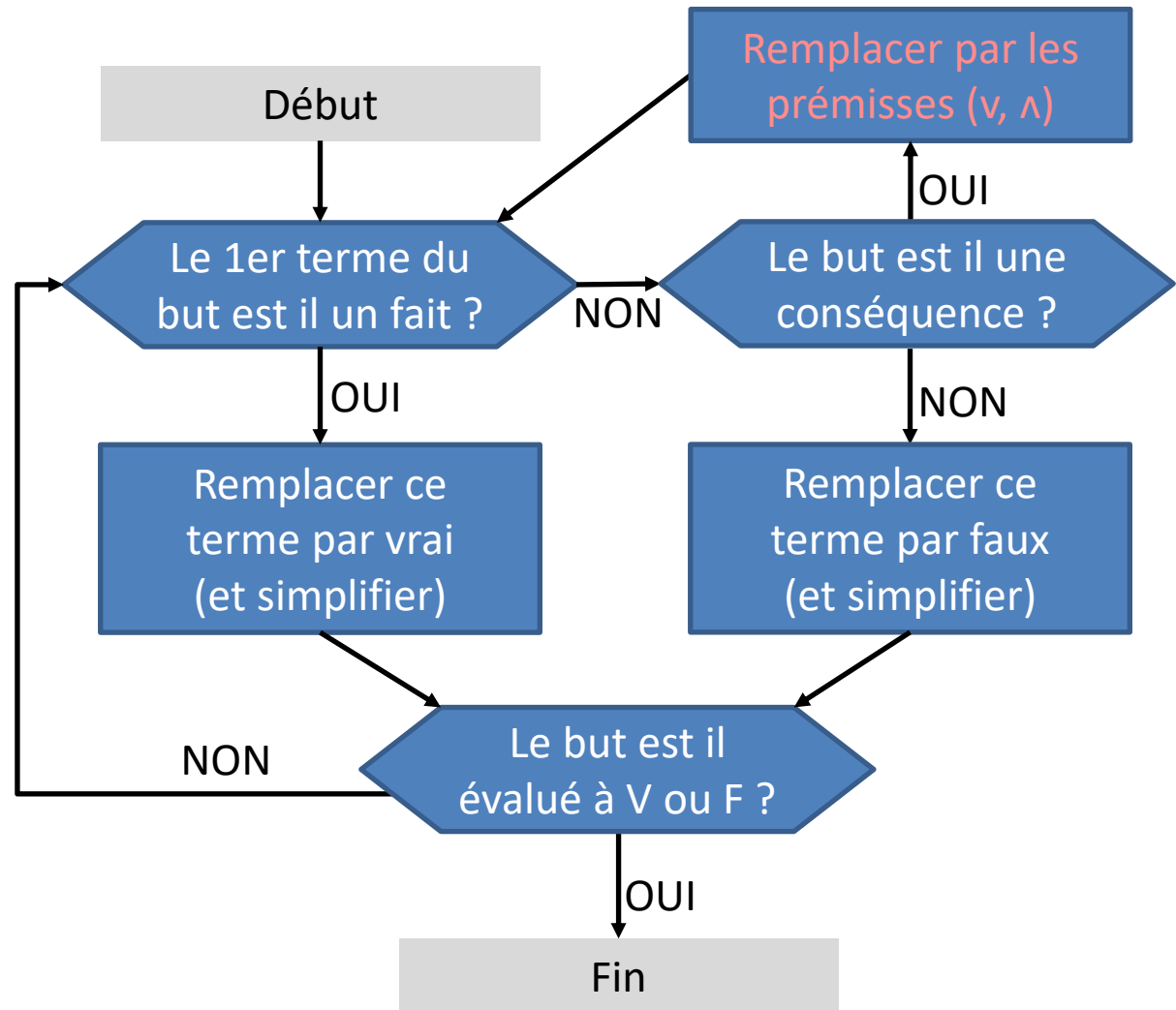
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

■ Faits :

- A, B, C

■ But :

- $B \wedge F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

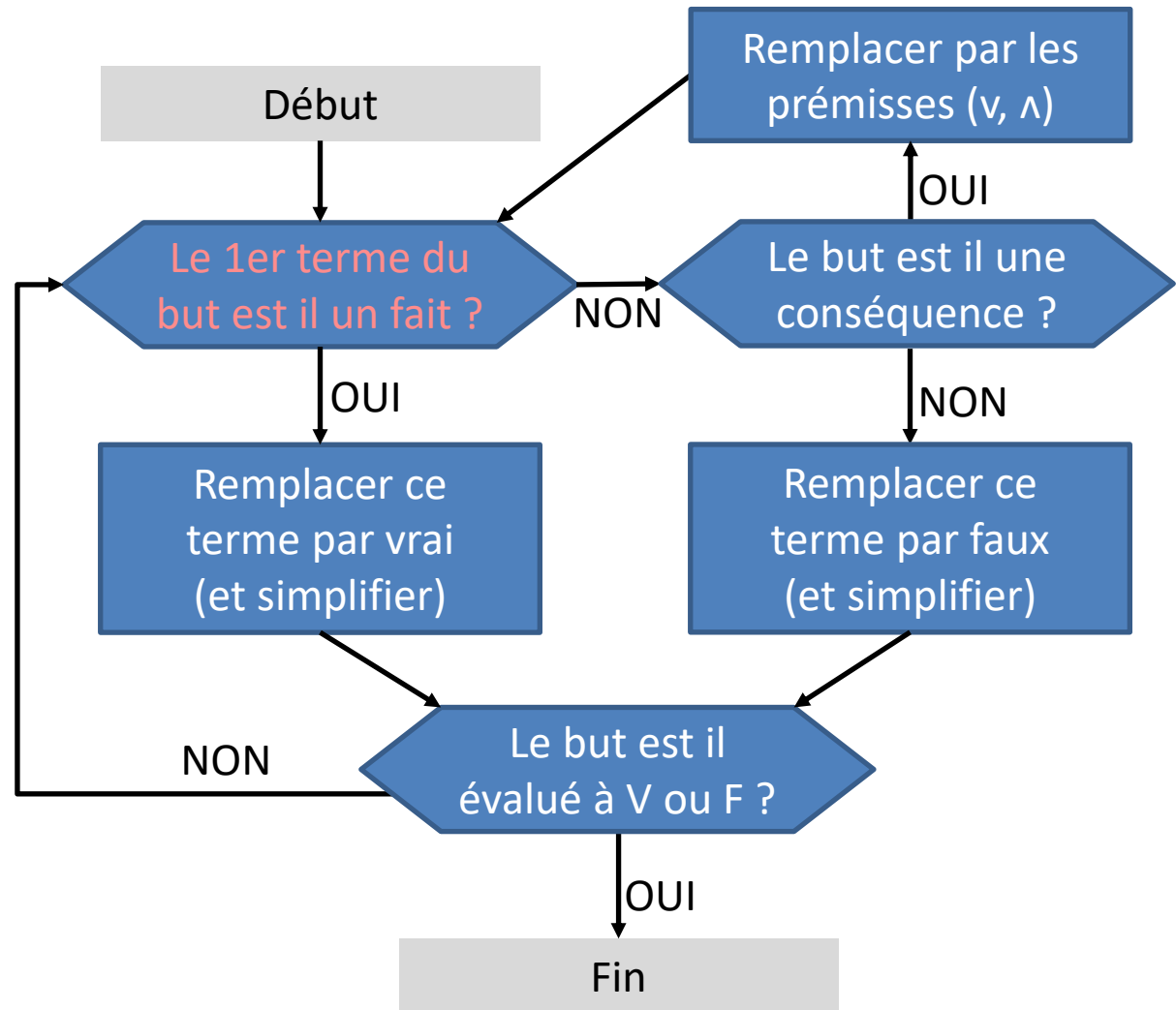
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $B \wedge F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

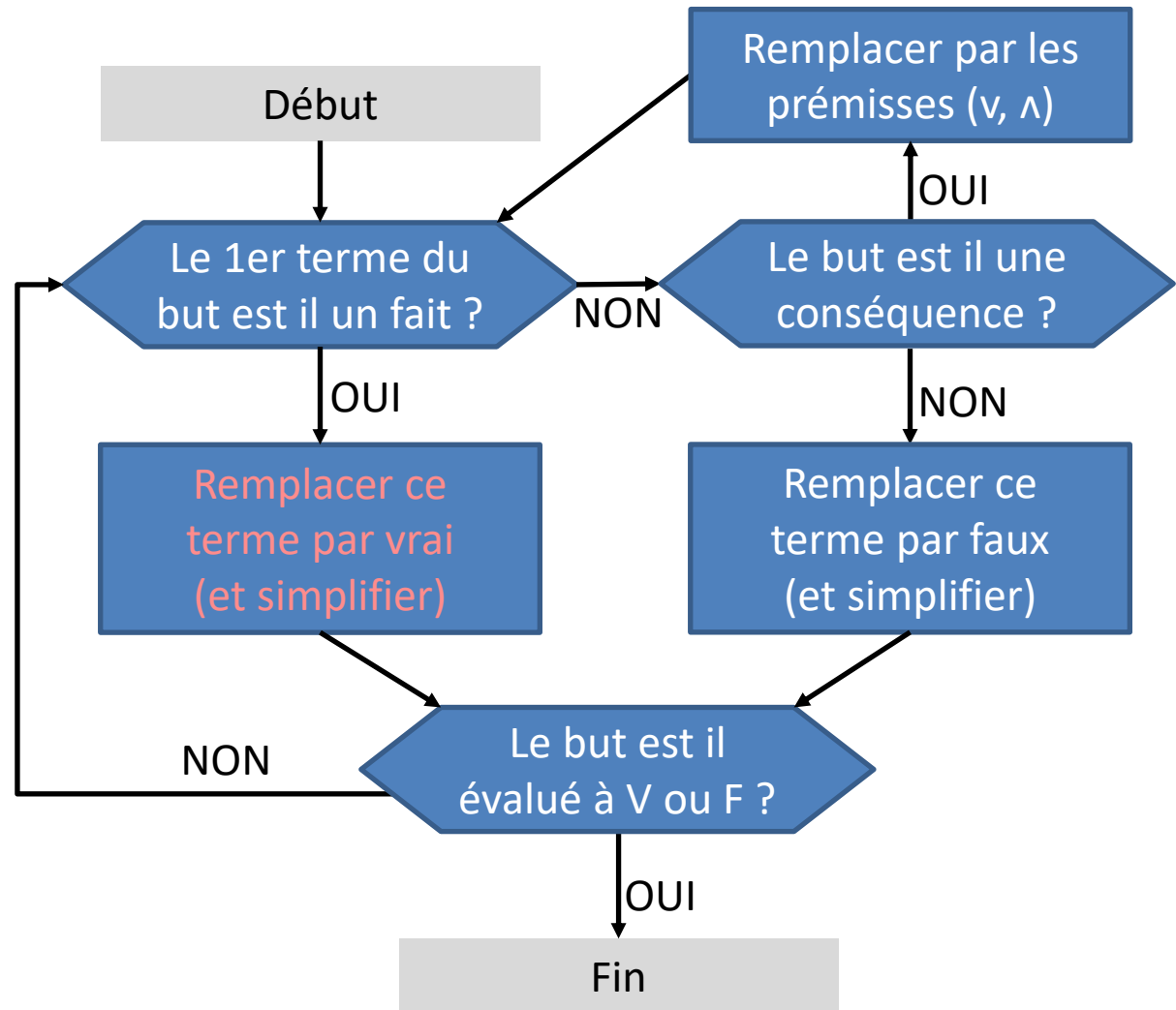
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $B \wedge F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

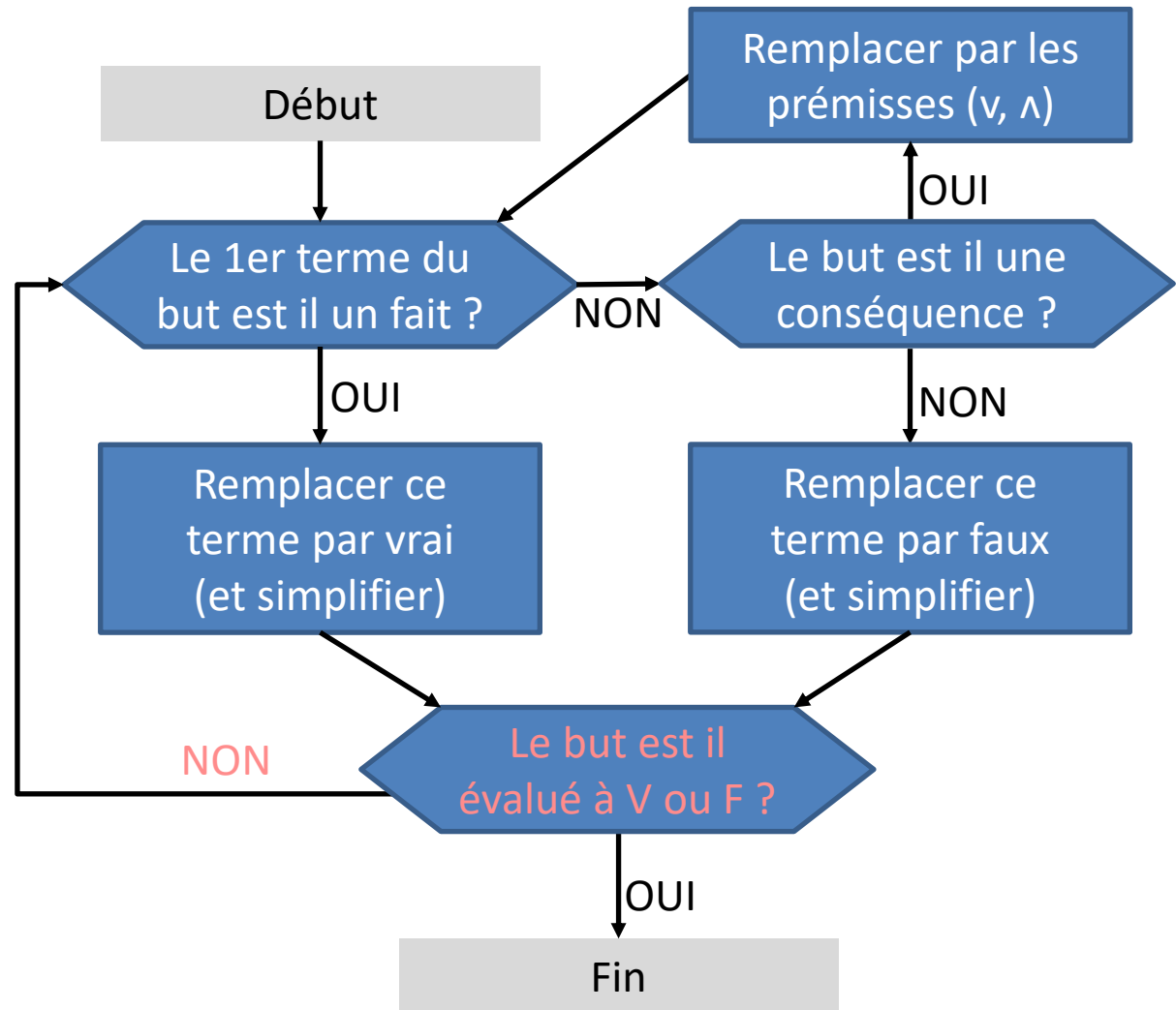
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

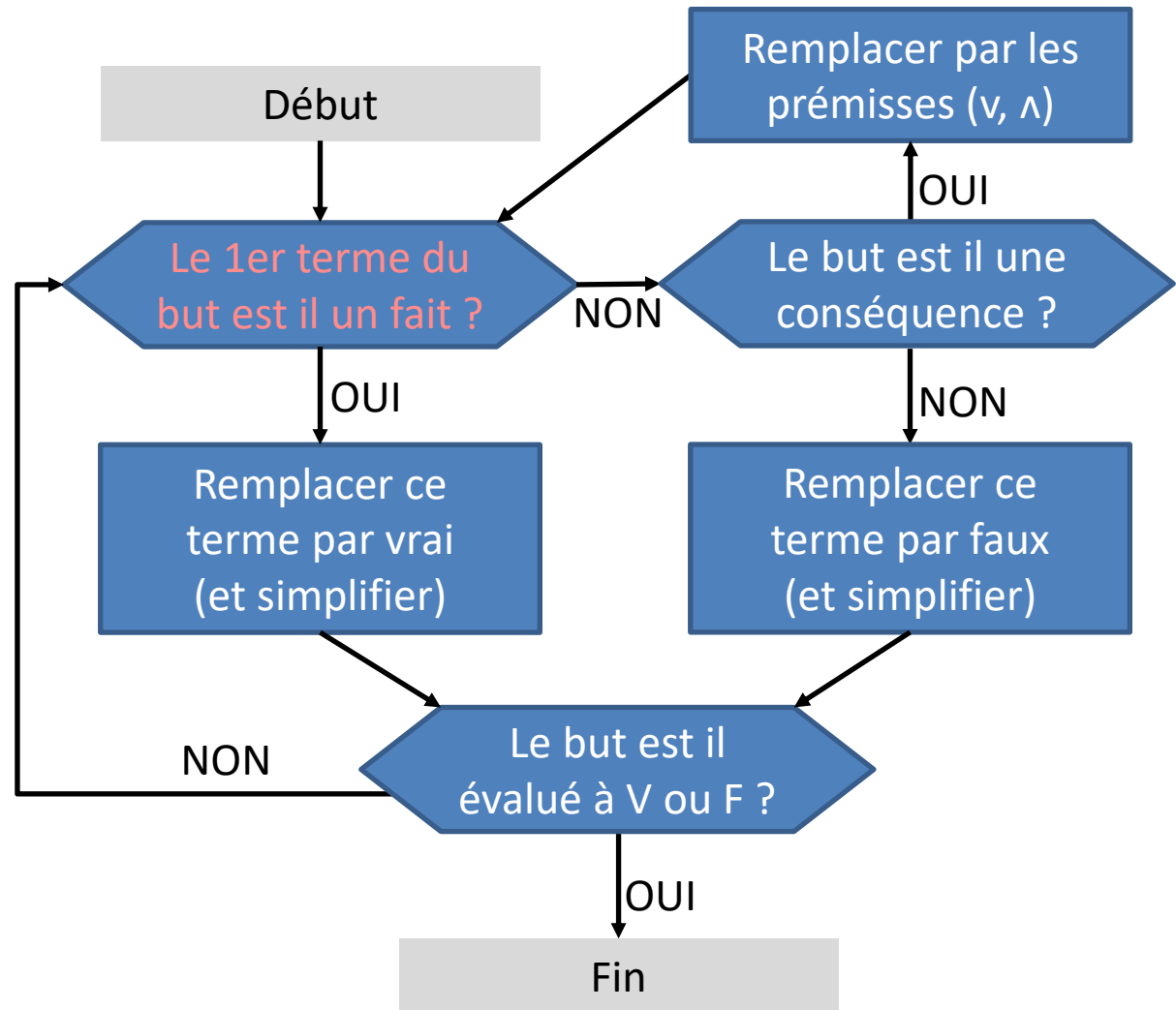
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

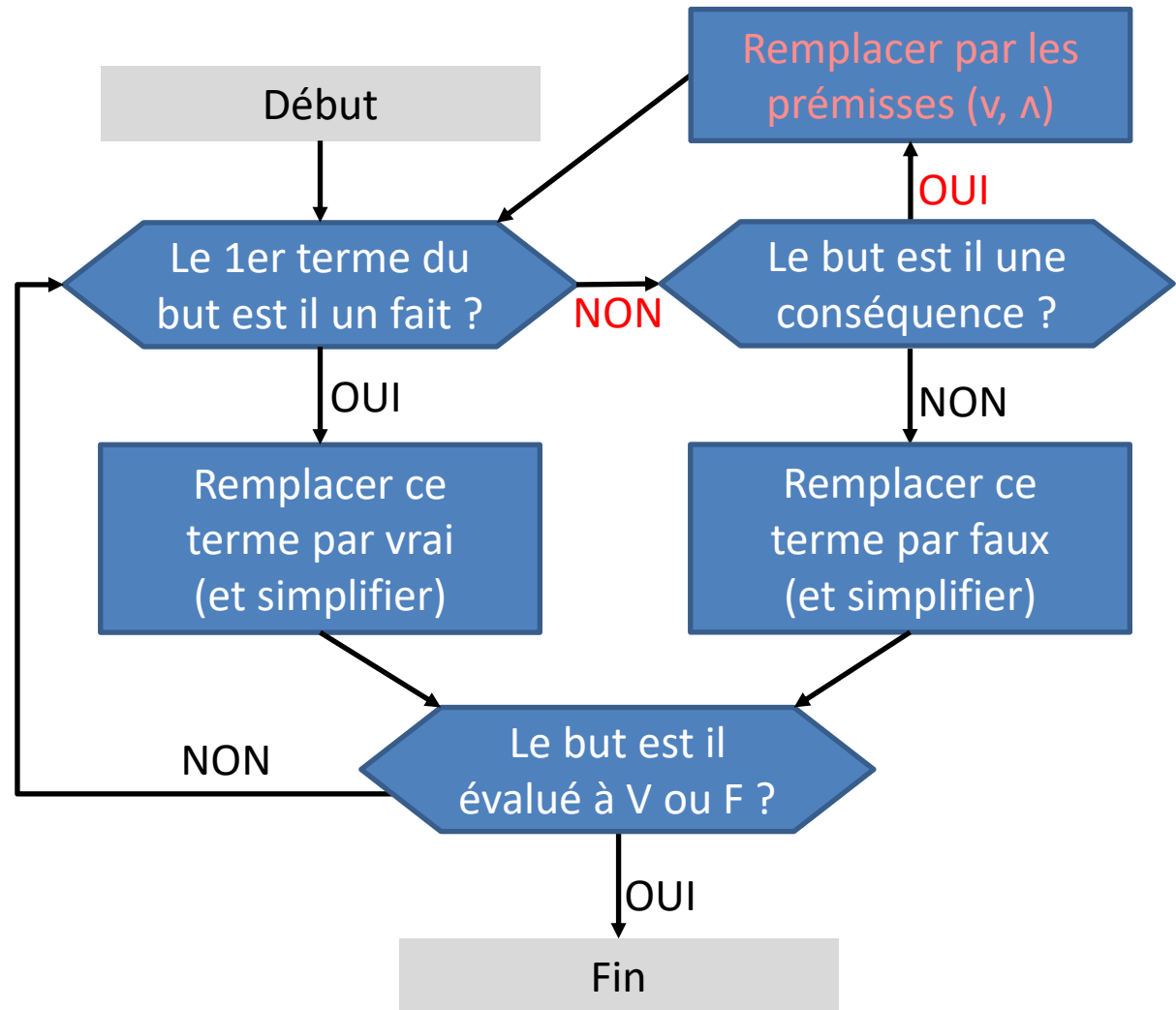
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $F \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

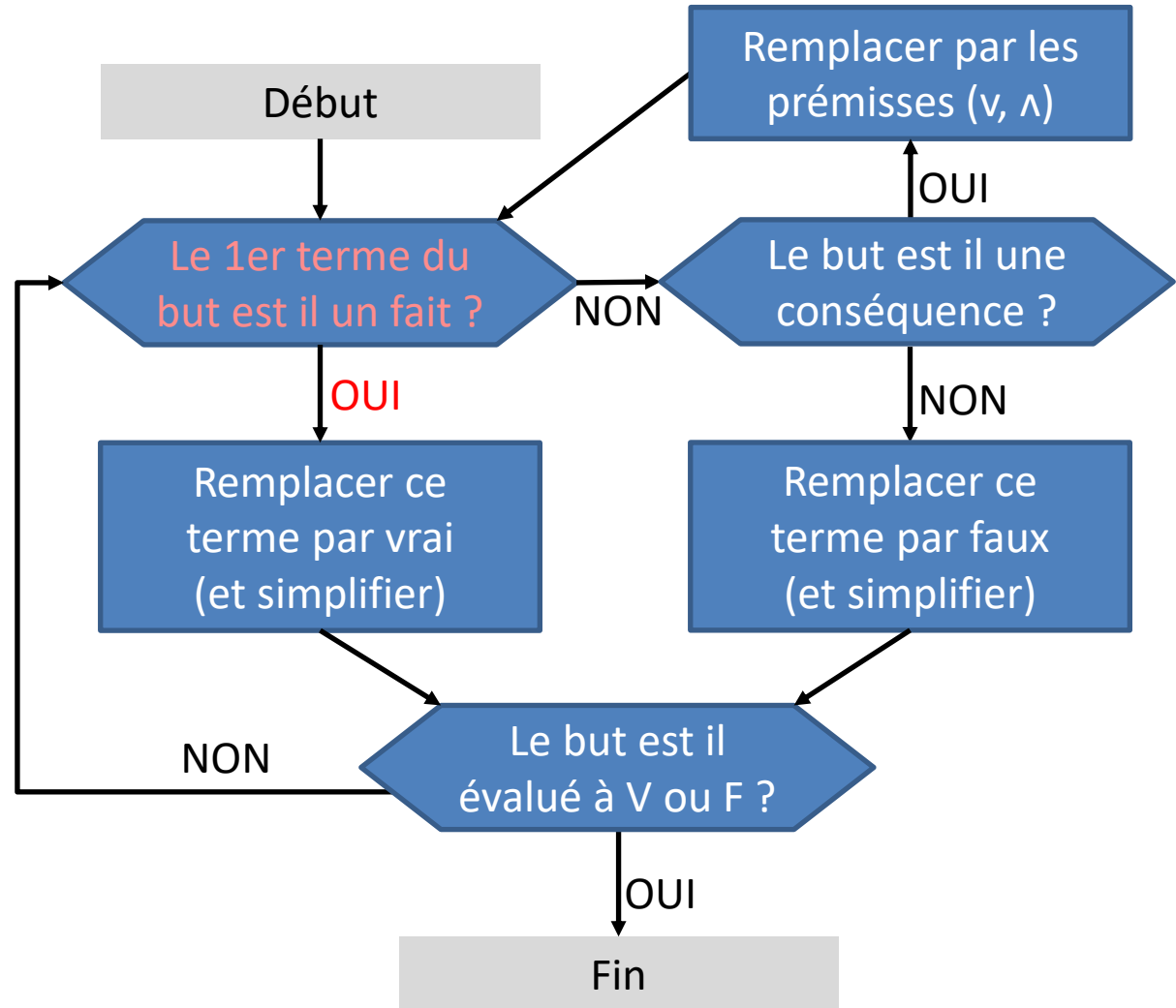
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $A \wedge C \wedge K \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

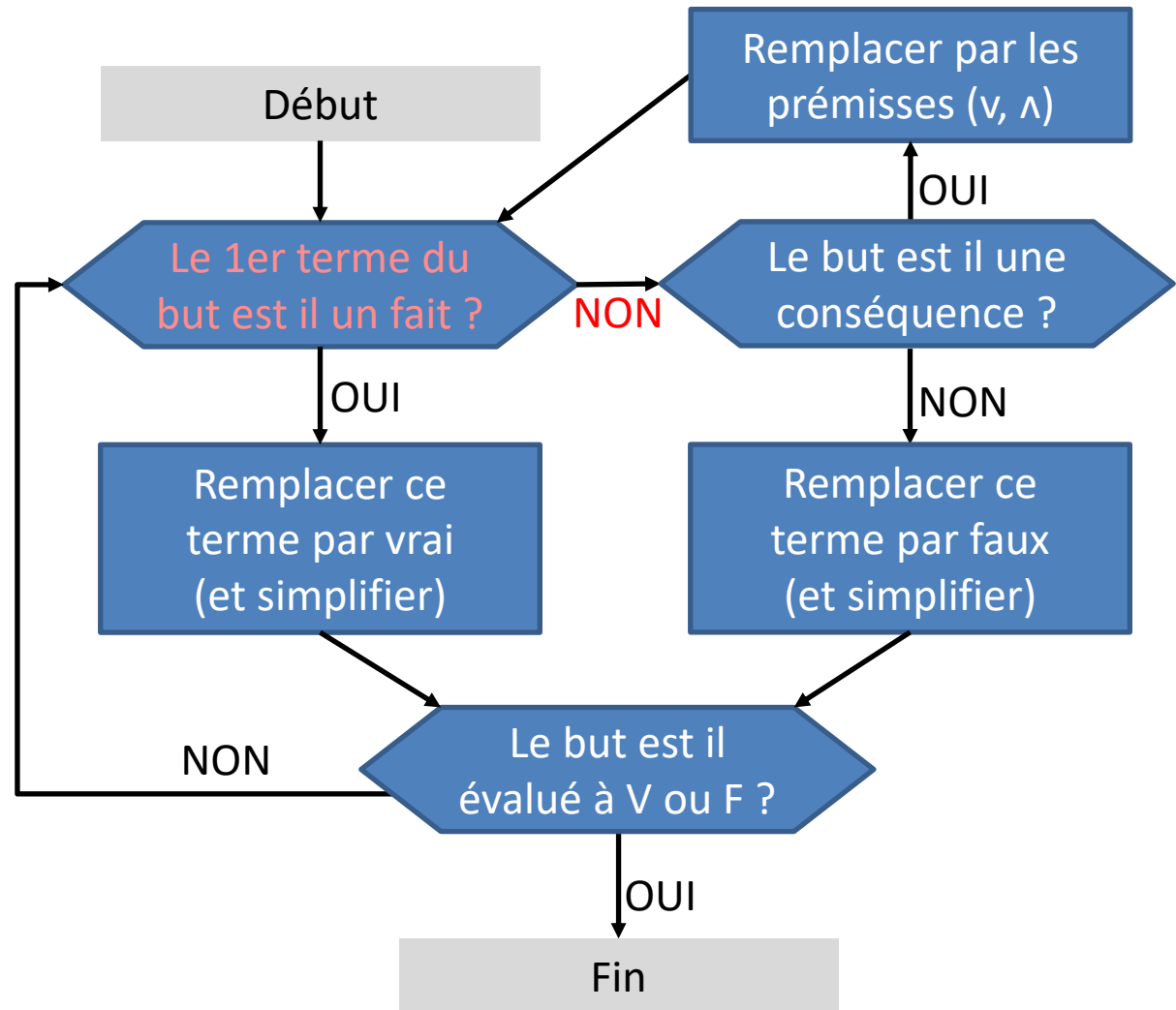
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $K \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

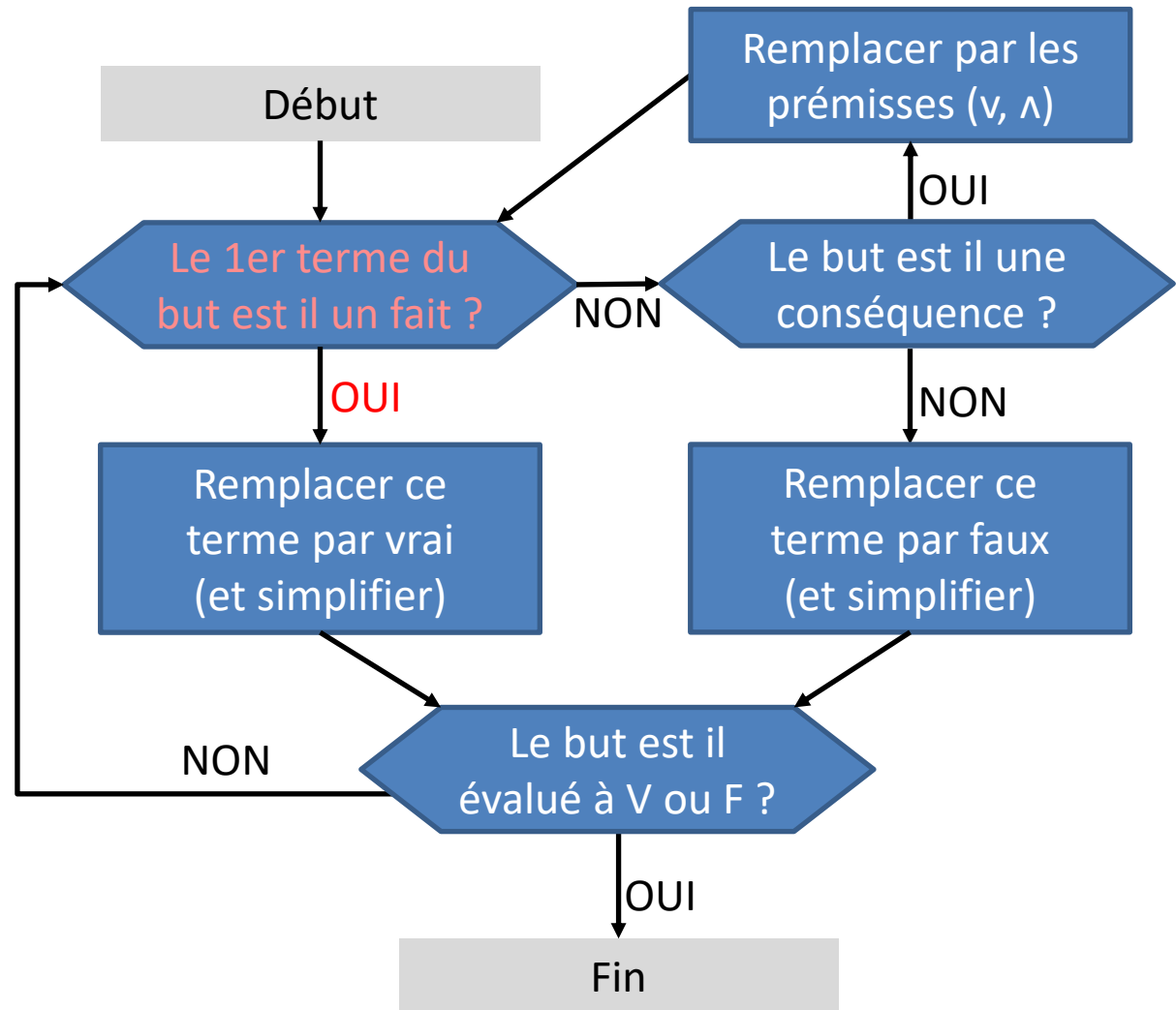
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $A \wedge C \wedge G$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

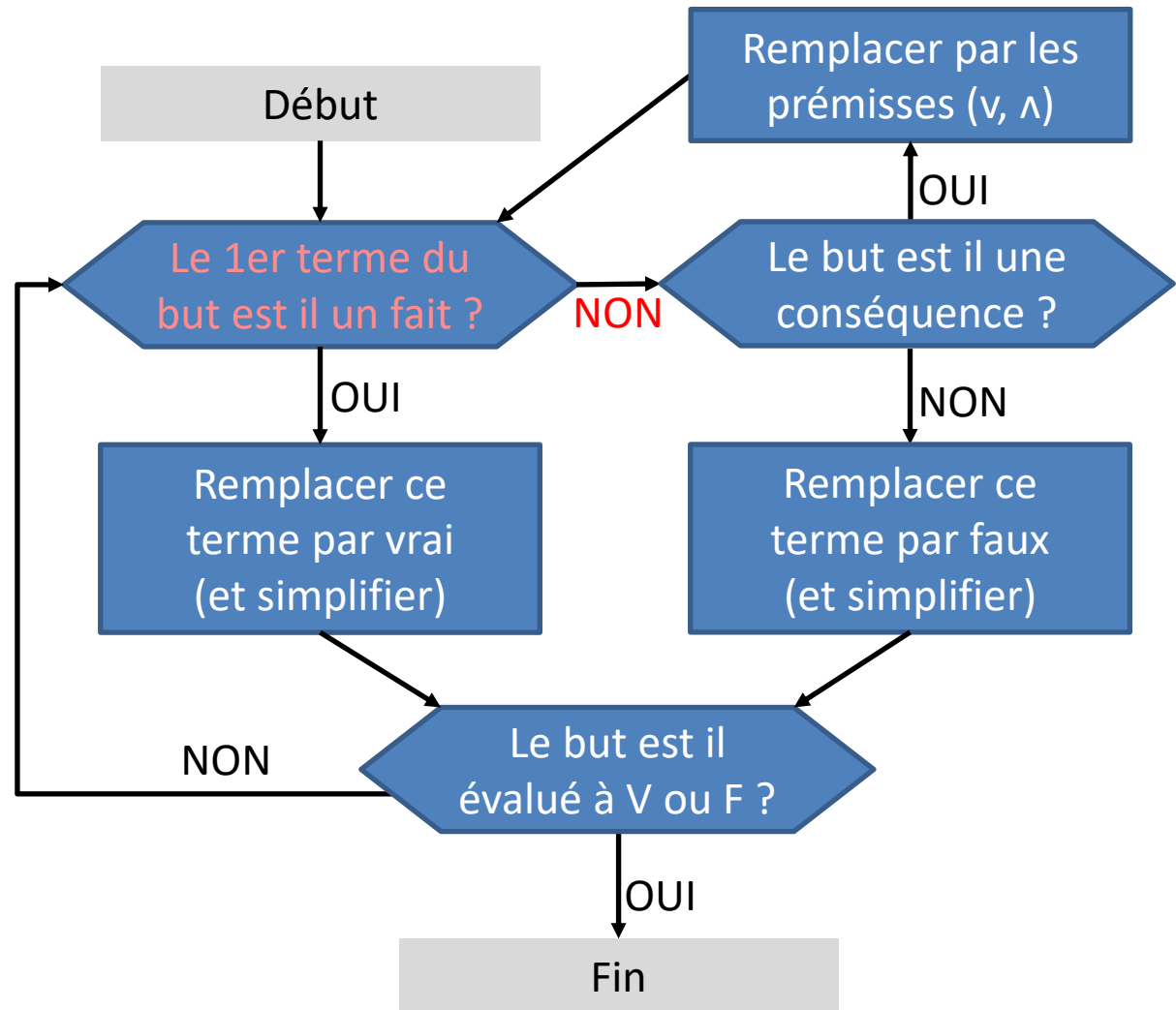
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- G



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

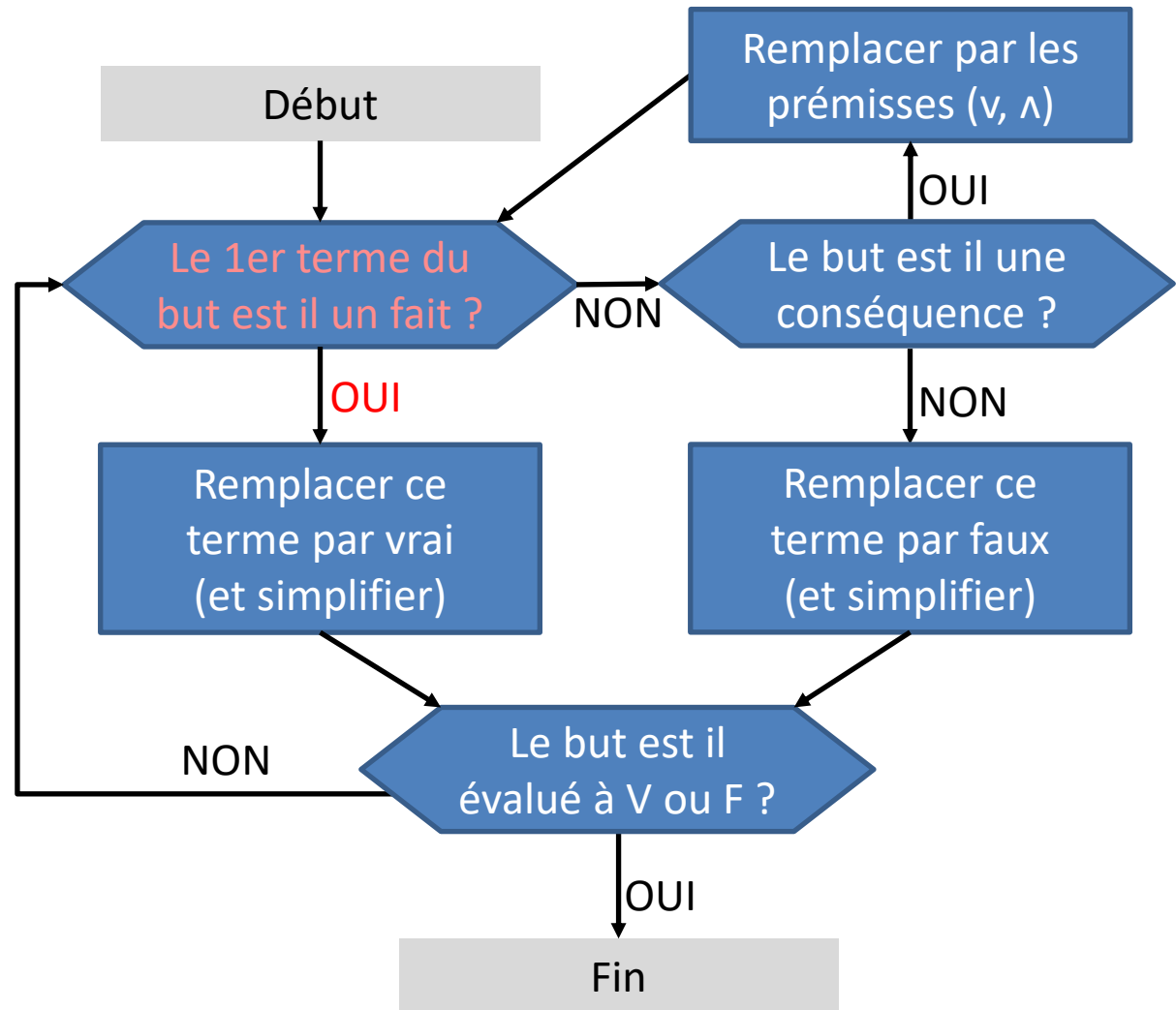
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- $C \wedge D$



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

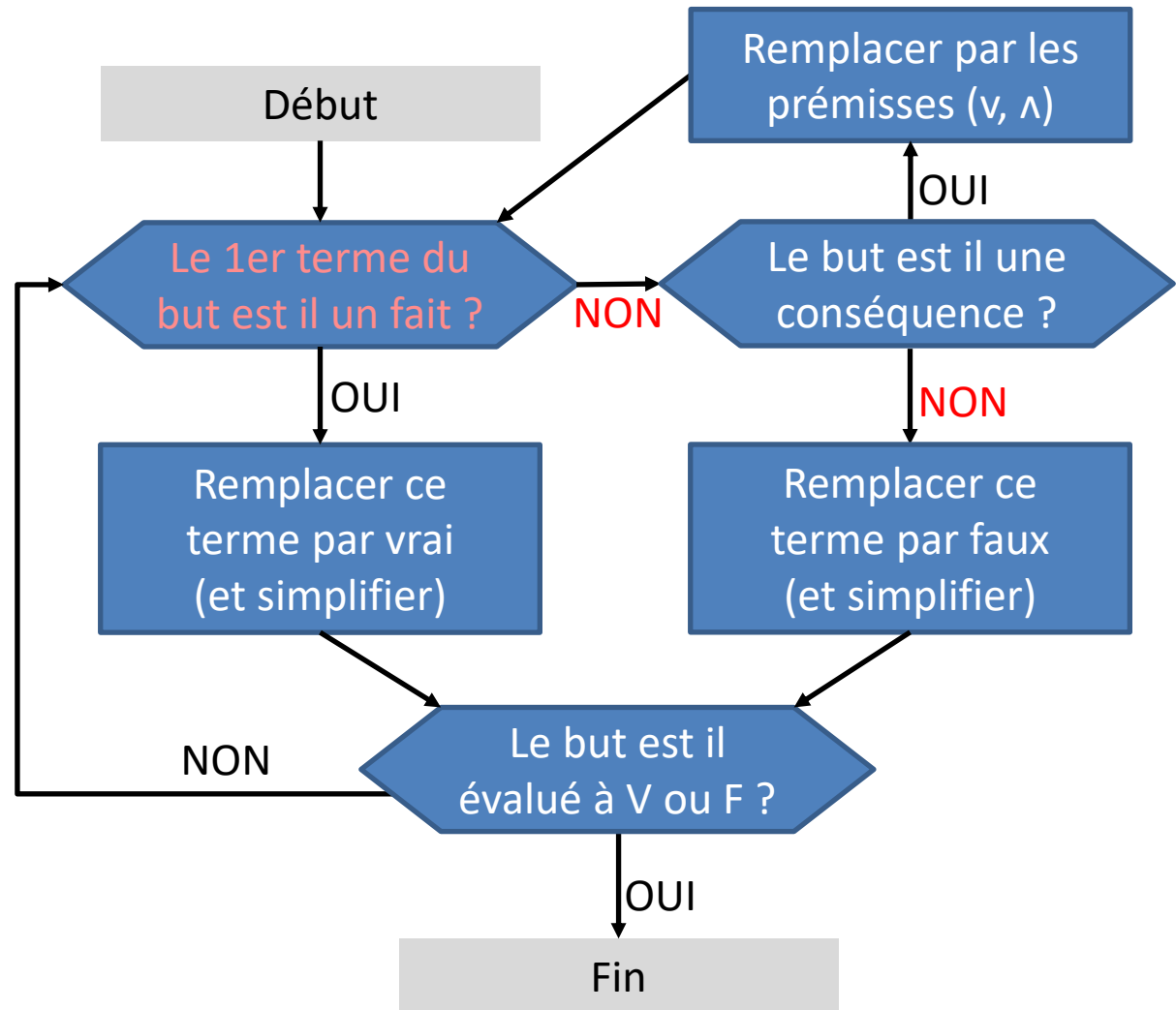
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- D



Chaînage arrière (exemple)

- Base de règles :

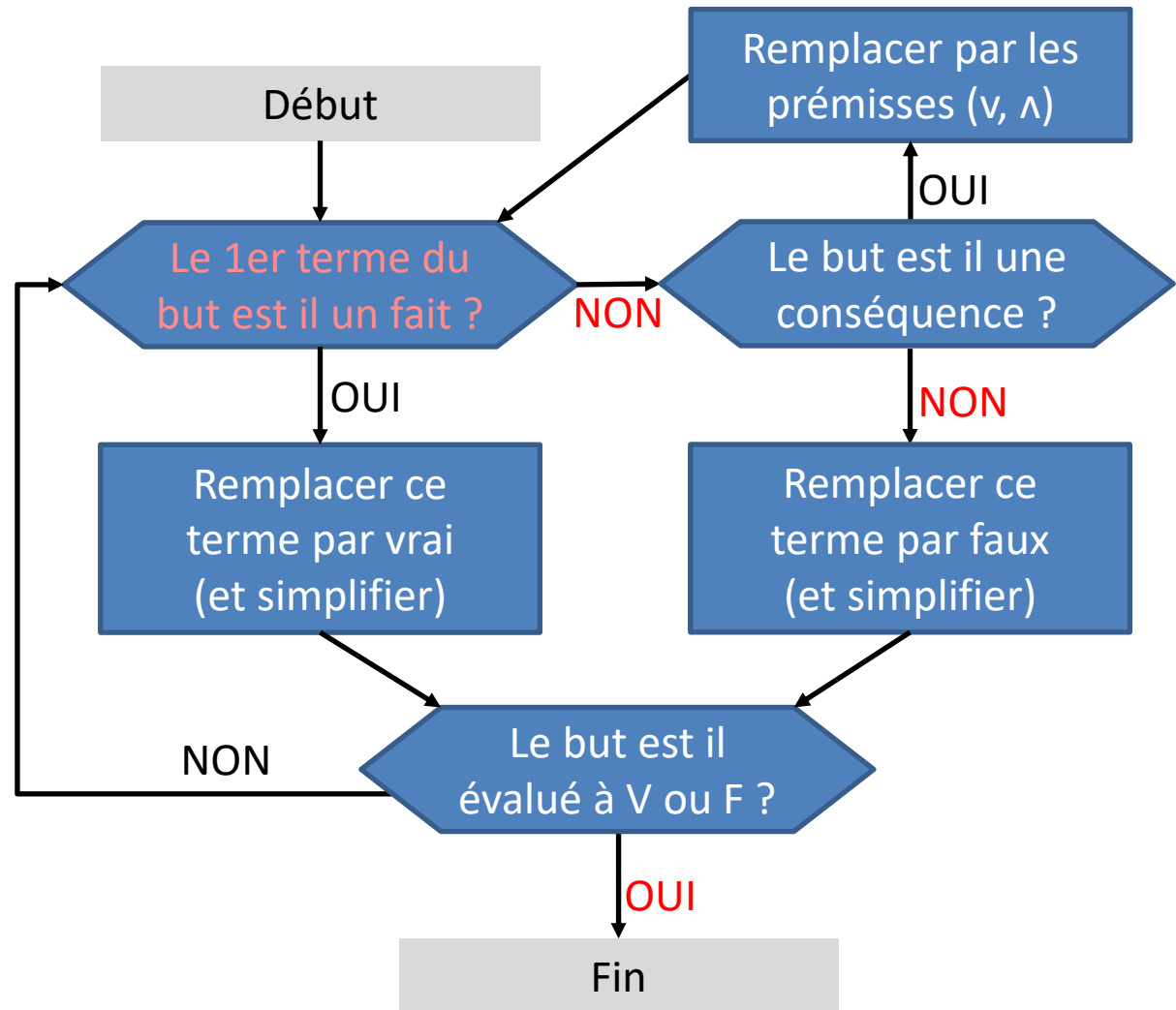
- $A \wedge C \wedge K \Rightarrow F$
- $B \wedge F \wedge G \Rightarrow J$
- $C \wedge D \Rightarrow G$
- $A \wedge D \Rightarrow H$
- $B \wedge E \wedge F \Rightarrow I$
- $D \wedge H \Rightarrow C$
- $A \wedge C \Rightarrow K$
- $B \wedge J \Rightarrow E$

- Faits :

- A, B, C

- But :

- ?



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

F

- Faits :

- A, B

- But :

- F

Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

F
|
A,E

- Faits :

- A, B

- But :

- F

→ Arbre de liste de buts

Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

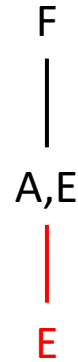
- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

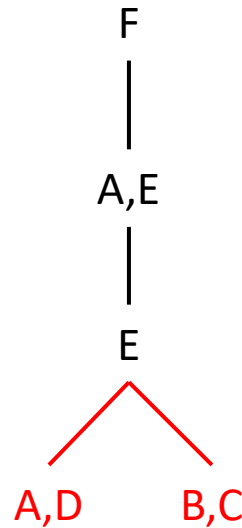
- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

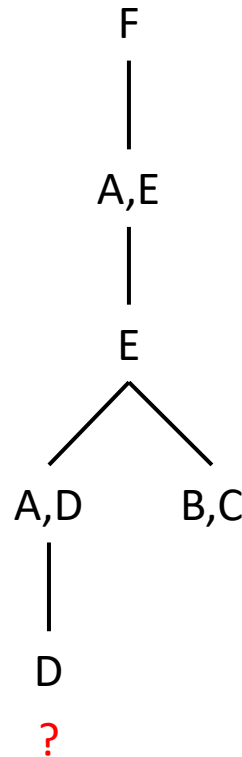
- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

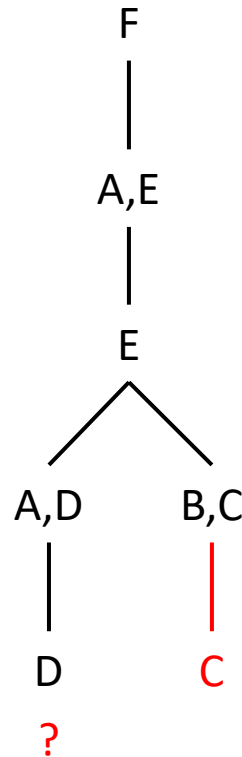
- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

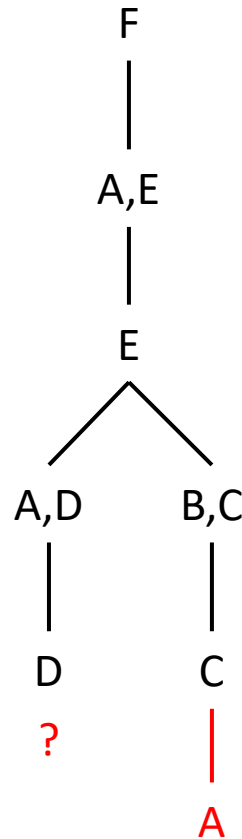
- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F



Chaînage arrière (exemple 2)

- Base de règles :

- $A \Rightarrow C$
- $A \wedge D \Rightarrow E$
- $B \wedge C \Rightarrow E$
- $E \wedge A \Rightarrow F$

- Faits :

- A, B

- But :

- F

