

# FORMATION D'EXPÉRIENCES DANS UN APPRENTISSAGE À BOUCLE FERMÉ

LISE-MARIE VEILLON

*UPMC - LIP6 - ACASA*

# Introduction - Plan

Travaux antérieurs : Projet CyBernard, formation d'hypothèse, SOLAR

Motivation : Adapter la formation d'expérience et l'illustrer avec Claude Bernard

- **Fondements**

- ▶ Le cycle de vie des hypothèses
- ▶ La formation d'hypothèses
- ▶ SOLAR

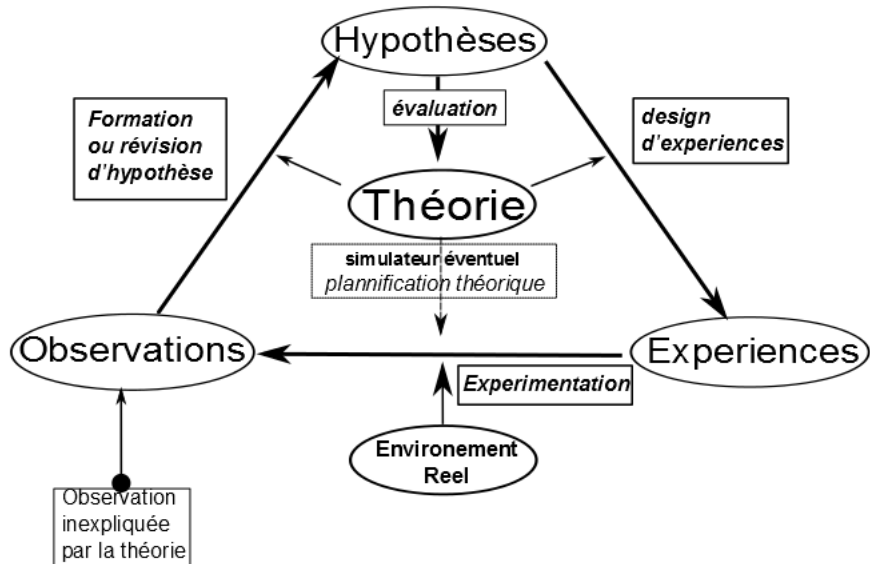
- Formalisation du choix d'expériences

- ▶ Recherche de conséquences
- ▶ Vérifications
- ▶ Algorithme de recherche d'expériences

- Modélisation de la Théorie de Claude Bernard

- ▶ Contenu et résultats
- ▶ Problématiques et Discussion

# Le cycle de vie des hypothèses



# Formation d'hypothèses

Étant donnés :

- un théorie  $\tau$
- une observation  $O = o_1 \wedge \dots \wedge o_n$
- un biais de langage pour les hypothèses :  $\Gamma$

On cherche  $H$  un ensemble d'hypothèses candidates:

$$\forall (h = h_1 \wedge \dots \wedge h_n) \in H$$

- $\tau \vee h \models O$
- $\tau \vee h$  cohérent
- chaque  $h_j$  est un élément du biais de langage  $\Gamma$

## Exemple de problème

Contexte : Dans un laboratoire on trouve un flacon sans étiquette. Le laboratoire dispose de trois produits bien identifiés P1, P2, P3. Le produit inflammable est P1 ; Le produit acide est P3 ;

### la théorie $\tau$

$\neg \text{produitPresent}(p_1) \vee \text{presenceDUnProduit}$

$\neg \text{produitPresent}(p_2) \vee \text{presenceDUnProduit}$

$\neg \text{produitPresent}(p_3) \vee \text{presenceDUnProduit}$

$\neg \text{produitPresent}(p_1) \vee \text{inflammable}$

$\neg \text{produitPresent}(p_3) \vee \text{acide}$

$\neg \text{inflammable} \vee \neg \text{FaireEtincelle} \vee \text{flamme}$

$\neg \text{acide} \vee \neg \text{VerserSurCalcaire} \vee \text{reaction}$

Les biais de langages choisis :

- **Observations**  $\{\text{presenceDUnProduit}, \text{flamme}, \text{reaction}\}$
- **Hypothèses**  $\{\text{produitPresent}(p_1), \text{produitPresent}(p_2), \text{produitPresent}(p_3)\}$
- **Interventions**  $\{\text{FaireEtincelle}, \text{VerserSurCalcaire}\}$

# Formation d'hypothèses en tant que recherche de conséquences

Peut également s'écrire :

- $\tau \cup \{\neg o_1 \vee \dots \vee \neg o_n\} \models \neg h_1 \vee \dots \vee \neg h_n$
- $\tau \not\models \{\neg h_1 \vee \dots \vee \neg h_n\}$
- chaque  $\neg h_j$  est un élément du biais de langage  $\bar{\Gamma}$ .

SOLAR peut calculer en tant que  $Newcarc(\tau, \neg O, \bar{\Gamma})$ .

# Recherche de conséquences avec SOLAR

Entrée :

- Une théorie clausale du premier ordre  $\Sigma$
- Un biais de langage  $P$
- (facultatif) Une "top-clause"  $C$

Résultat :

- La satisfiabilité
- L'ensemble des nouvelles conséquences minimales induites par l'ajout de  $C$  à  $\Sigma$  :  $\text{Newcarc}(\Sigma, C, P)$ .
- L'ensemble des conséquences minimales de  $\Sigma$  :  $\text{Carc}(\Sigma, P)$ .

$$S \in \text{newcarc}(\Sigma, C, P) \Leftrightarrow \begin{cases} \Sigma \cup C \models S \\ \Sigma \not\models S \\ S \text{ minimale} \\ S \in P \end{cases}$$

# EXEMPLE (Partie 1) formation d'hypothèses

**Observation inexplicée** : présence d'un produit non identifié :

$O_0$  : presenceDUnProduit .

**Formation d'hypothèses avec SOLAR**

$\tau \cup \neg O_0 \models \neg h$

## syntaxe SOLAR

```
cnf(pp1, axiom, [-produitPresent(p1), presenceProduit]). % la théorie
```

```
cnf(pp2, axiom, [-produitPresent(p2), presenceProduit]).
```

```
cnf(pp3, axiom, [-produitPresent(p3), presenceProduit]).
```

```
cnf(infl, axiom, [-produitPresent(p1), inflammable]).
```

```
cnf(corr, axiom, [-produitPresent(p3), corrosif]).
```

```
cnf(reaInfl, axiom, [-inflammable, -faireEtincelle, flamme]).
```

```
cnf(reaCorr, axiom, [-corrosif, -verserSurCalcaire, reaction]).
```

```
cnf(tc, top_clause, [-presenceProduit]). %  $\neg O_0$ 
```

```
pf([-produitPresent(_)] <= 1). % champ de production des hypothèses
```



# EXEMPLE (Partie 1) : formation d'hypothèses

La solution obtenue est :

## Résultat

SATISFIABLE

3 FOUND CONSEQUENCES

$[-\textit{produitPresent}(p2)]$

$[-\textit{produitPresent}(p3)]$

$[-\textit{produitPresent}(p1)]$

Trois hypothèses minimales obtenues.

Si le produit est nécessairement pur : liste des hypothèses exhaustive (rarement le cas).

# Design Expérimental

- Fondements
  - ▶ Le cycle de vie des hypothèses
  - ▶ La formation d'hypothèses
  - ▶ SOLAR
- **Formalisation du choix d'expériences**
  - ▶ Recherche de conséquences
  - ▶ Vérifications
  - ▶ Algorithme de recherche d'expériences
- Modélisation de la Théorie de Claude Bernard
  - ▶ Contenu et résultats
  - ▶ Problématiques et discussion

# Découverte d'expérience discriminante

Étant donnés :

- Une théorie  $\tau$
- Un ensemble d'hypothèses candidates  $H$
- Un biais de langage pour les expériences et observations

On cherche un couple  $(E,o)$ , formé d'une expérience (de zero à plusieurs faits) et une observation (un seul fait) tel que :

- $X^+(E,o) = \{h \in H \mid \tau \cup E \cup h \models o \text{ et } \tau \cup E \cup h \text{ cohérent} \}$  non vide
- $X^-(E,o) = \{h \in H \mid \tau \cup E \cup h \not\models o \}$  non vide

## EXEMPLE (Partie 2) : Recherche de couples candidats

$$\tau \cup h_1 \models \neg E \vee O$$

$\tau$  conservé.

Avec  $h_1$  : produitPresent(p1);

Le nouveau champ de production :

$pf([-faireEtincelle, -verserSurCalcaire, flamme, reaction, presenceProduit])$ .

### Résultat

1 FOUND CONSEQUENCES [-faireEtincelle, +flamme]

produitPresent(p1) permet d'obtenir le couple (faireEtincelle, flamme).

produitPresent(p3) permet d'obtenir le couple (verserSurCalcaire, reaction).

produitPresent(p2) ne permet pas de trouver de couple.

## EXEMPLE (Partie 2 bis) Vérification couple discriminant

Vérification de (faireEtincelle, flamme), obtenue avec "produitPresent(p1)", à partir de l'hypothèse suivante.

$\tau$  conservé.

On ajoute :

- h2 : produitPresent(p2) % top\_clause
- E : faireEtincelle
- $\neg O$  :  $\neg$ flamme.

### Résultat

SATISFIABLE

produitPresent(P2) est une hypothèse qui ne suffit pas à expliquer (ou contredit) l'observation "flamme" lors de l'expérience "faireEtincelle". Donc  $P_2 \in X^-(E, o)$ .

# Algorithme de choix d'expérience

Recherche d'un couple  $(E,o)$  discriminant à partir de la première hypothèse  $h_1$ .

- Étape SOLAR

$$\tau \cup h_1 \models \neg E \vee O$$

$\Rightarrow$  obtient un couple  $(E,o)$  et  $h_1 \in X^+(E, o)$  (donc non vide).

- Vérifications du couple :

- ▶  $\neg E \vee O$  respecte le biais de langage.
- ▶ Pas de couples triviaux :  $\tau \models \neg E \vee O$  ( propriété SOLAR);  
 $(\emptyset, O_0)$ .
- ▶  $X^-(E, o)$  non vide : chercher  $h_i$  tel que  $\tau \cup h_i \cup E \cup \neg O$  soit cohérent. ( $\Rightarrow$   
 $h_i \in X^-(E, o)$ )

La recherche peut être faite successivement à partir des autres hypothèses.

# Développement d'un exemple complexe

- Fondements
  - ▶ Le cycle de vie des hypothèses
  - ▶ La formation d'hypothèses
  - ▶ SOLAR
- Formalisation du choix d'expériences
  - ▶ Recherche de conséquences
  - ▶ Vérifications
  - ▶ Algorithme de recherche d'expériences
- **Modélisation de la Théorie de Claude Bernard**
  - ▶ Contenu et résultats
  - ▶ Problématiques et discussion

# Expérience de Claude Bernard sur le curare

Notions biologiques modélisées :

- Un milieu intérieur liant des organes par des vaisseaux
- Des interventions; injections variées, garrot, respiration artificielle
- L'influence de l'activité de certains organes

Caractéristiques de l'exemple :

- Introduction de la séquentialité
- Chaines de conséquences plus longue
- Valeurs quantitatives en petit nombre d'états qualitatifs
- L'absence et la présence de certaines informations ont des conséquences



# Résultats

- Obtient expériences similaires nombreuses
- Peut être un résultat rapide
- Soulignes les difficultés de l'approche
  - ▶ L'exhaustivité et la vérification de la minimalité sont longs
  - ▶ Nécessité d'augmenter les champs de production

# Problématiques-Discussion

- Manipulations d'hypothèses minimales
  - ▶ Hypothèse rejeté : rejet de celles subsumées?
- Valeurs par défaut et sous entendus
  - ▶ pre-post traitements
- Choix de stratégie de recherche de couple

# Conclusion

- Une méthode avec plusieurs stratégies possibles.
- Plusieurs problématiques à approfondir.
- Le modèle de Claude Bernard au premier ordre.
- Premiers résultats

Merci de votre attention

QUESTIONS ?