

Slide 1

**Opérateurs naturels
en Programmation Logique Inductive**

Fabien Torre & Céline Rouveirol

Groupe Inférence et Apprentissage
Laboratoire de Recherche en Informatique
Université Paris-Sud, Orsay

Slide 2

Plan de la présentation

- Les opérateurs classiques ne permettent pas un élagage dynamique par rapport aux biais de langage.
- Définition de nouveaux pré-ordres, les *relations naturelles*, qui permettent cet élagage.
- Un opérateur idéal [van der Laag and Nienhuys-Cheng, 1994] peut-il exister pour les relations naturelles?
- Conclusion, Perspectives.

Programmation Logique Inductive

Exemples et hypothèses sont des clauses définies.

Slide 3

[Muggleton and Raedt, 1994]: Étant donnés E^+ (des exemples positifs) et E^- (des exemples négatifs) pour le concept cible, et une théorie du domaine B , trouver une hypothèse H telle que

$$\forall e^+ \in E^+ : B \cup H \models e^+ \quad (H \text{ est complète}) ,$$

$$\forall e^- \in E^- : B \cup H \not\models e^- \quad (H \text{ est correcte}) .$$

Exemple : le concept grand-père

$$\text{pa}(A,B) \leftarrow \text{p}(A,B) \quad (\text{pa}=\text{parent}, \text{p}=\text{père}, \text{m}=\text{mère})$$

$$\text{pa}(A,B) \leftarrow \text{m}(A,B)$$

Slide 4

$$\text{gp}(\text{abraham}, \text{bart}) \leftarrow \text{p}(\text{abraham}, \text{homer}), \text{p}(\text{homer}, \text{bart})$$

$$\text{gp}(\text{grampa-bouvier}, \text{bart}) \leftarrow \text{p}(\text{grampa-bouvier}, \text{marge}), \text{m}(\text{marge}, \text{bart})$$

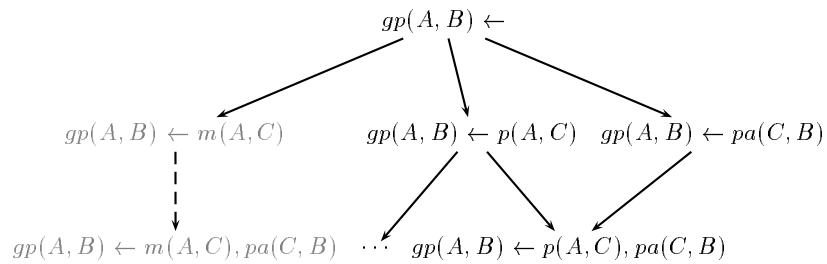
$$\leftarrow \text{gp}(\text{mona}, \text{bart}), \text{m}(\text{mona}, \text{homer}), \text{p}(\text{homer}, \text{bart})$$

$$\leftarrow \text{gp}(\text{jackie}, \text{bart}), \text{m}(\text{jackie}, \text{marge}), \text{m}(\text{marge}, \text{bart})$$

$$\text{gp}(A,B) \leftarrow \text{p}(A,C), \text{pa}(C,B)$$

Opérateurs de raffinement & Élagage

Exemple : ajout d'un littéral.



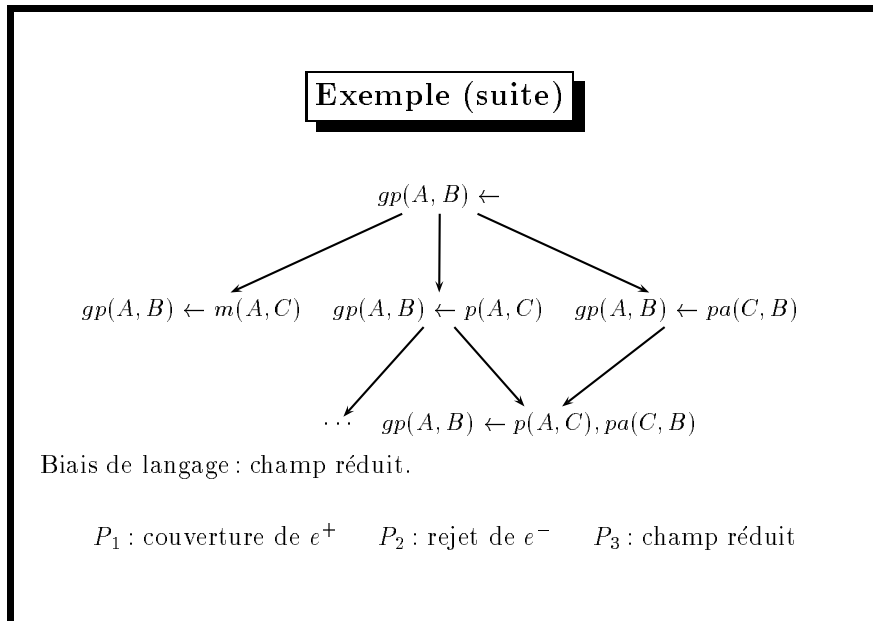
[Mitchell, 1982]: La recherche doit respecter un ordre de généralité pour permettre un élagage par rapport à la couverture des exemples.

Biais de langage

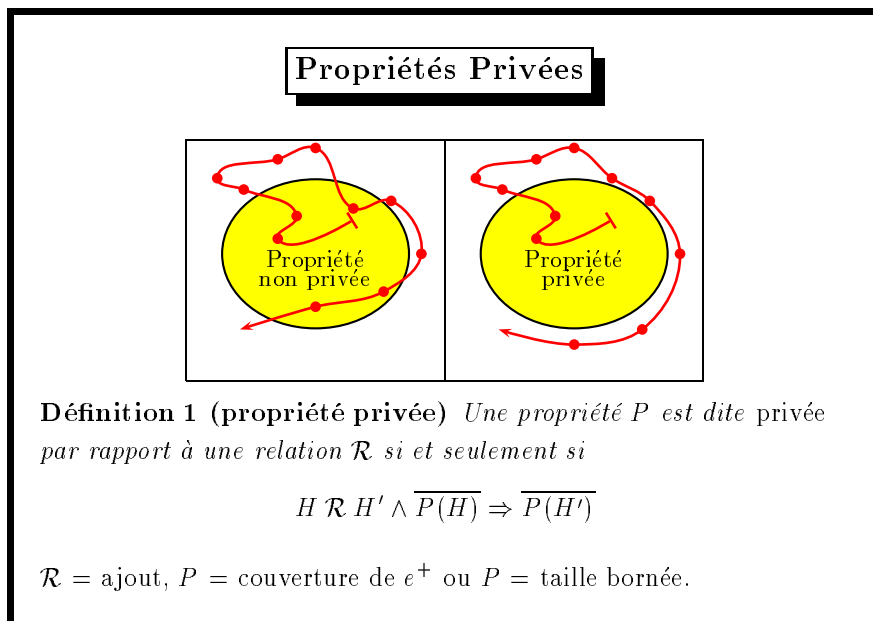
Slide 6

- [Mitchell, 1991]: Les biais sont *nécessaires* à l'apprentissage (qualité des résultats et efficacité).
- Biais de langage : contraintes sur la syntaxe des hypothèses.
 - champ réduit, connexion,
 - borne sur la taille, le nombre de variables, la profondeur, etc.
- Ces biais ne rendent pas la recherche plus efficace : l'élagage dynamique est généralement impossible par rapport à ces contraintes.

Slide 7



Slide 8



Slide 9

Relations naturelles

Relation naturelle d'une propriété P : une relation, la plus large possible, pour laquelle P est privée.

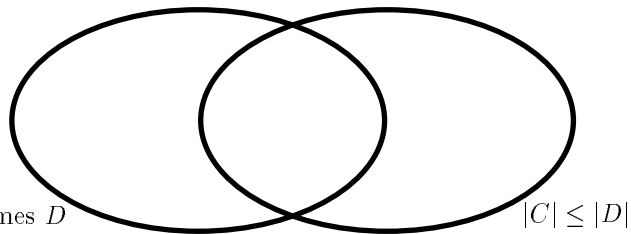
- La relation naturelle d'une propriété P est unique et toute relation qui rend P privée est incluse dans cette relation naturelle.
- Deux hypothèses C et D sont en relation naturelle pour une propriété $f(H) \mathcal{R} k$ si et seulement si $f(C) \mathcal{R} f(D)$.

$$\begin{aligned}
 H \models e^+ & \dots\dots\dots C \models D \\
 |H| \leq_{\mathbb{N}} 5 & \dots\dots\dots |C| \leq_{\mathbb{N}} |D|
 \end{aligned}$$

Slide 10

Conjonctions de propriétés

H θ -subsume e^+ et $|H| \leq k$.



Définition 2 C θ -subsume D si et seulement si il existe une substitution θ telle que $C\theta \subseteq D$.

Slide 11

Opérateurs idéaux

[van der Laag and Nienhuys-Cheng, 1994]

Définition 3 (idéalité) *Un opérateur \mathcal{O} est idéal s'il est à la fois localement fini, strict et complet.*

Localement fini: $\mathcal{O}(H)$ est calculable ;

Strict: $\mathcal{O}(H)$ ne contient aucune clause équivalente à H ;

Complet: $\mathcal{O}^*(H)$ contient toutes les clauses comparables à H .

Les opérateurs idéaux n'existent pas sous θ -subsumption ou implication logique.

Slide 12

Couvertures

Définition 4 (couverture) *C couvre D si $C > D$ et il n'existe pas de E telle que $C > E > D$. C est une couverture supérieure de D , D une couverture inférieure de C .*

Définition 5 (ensemble couvrant) *Un ensemble couvrant inférieur (resp. supérieur) d'une clause C est un ensemble maximal de couvertures inférieures (resp. supérieures) de C , incomparables entre elles.*

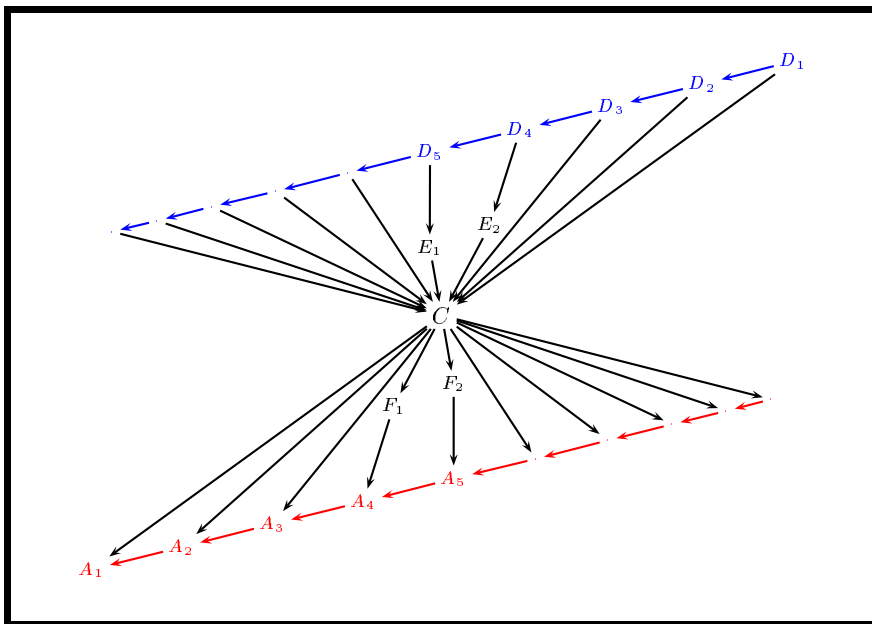
Non-existence

Un opérateur idéal calcule au moins un ensemble couvrant.

Par suite, il y a deux problèmes possibles.

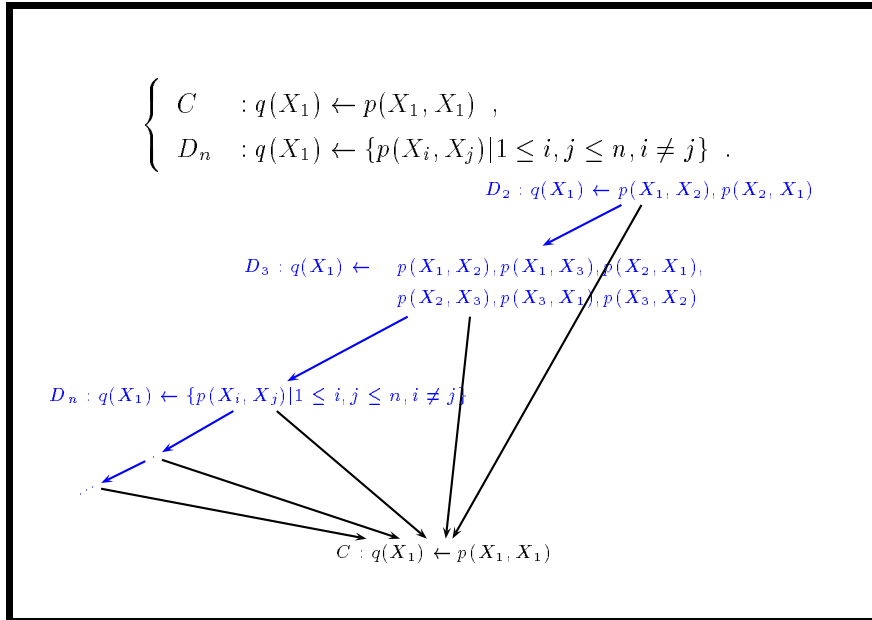
1. L'ensemble couvrant n'est pas défini, il y a une chaîne infinie non couverte.
2. L'ensemble couvrant est infini, un opérateur complet n'est pas calculable.

Slide 13

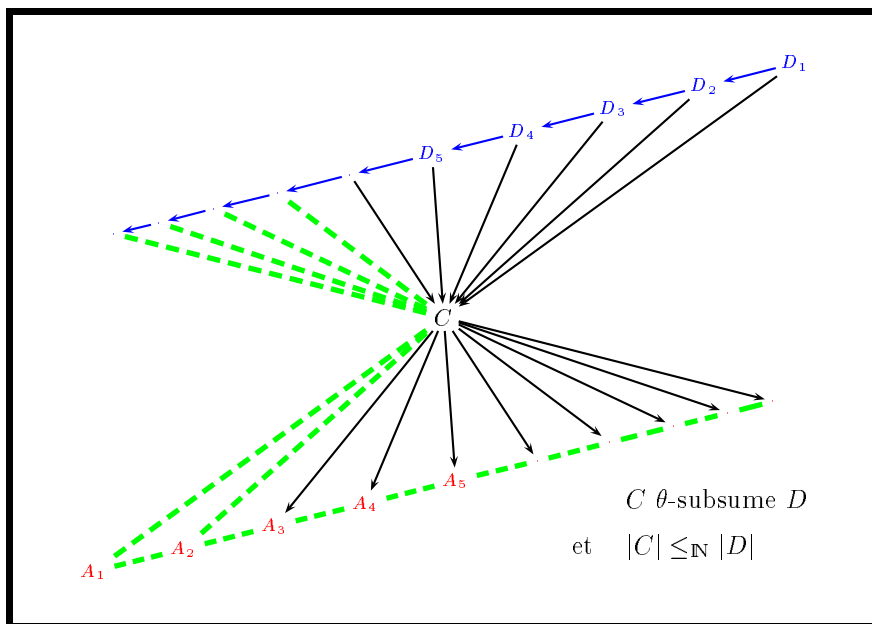


Slide 14

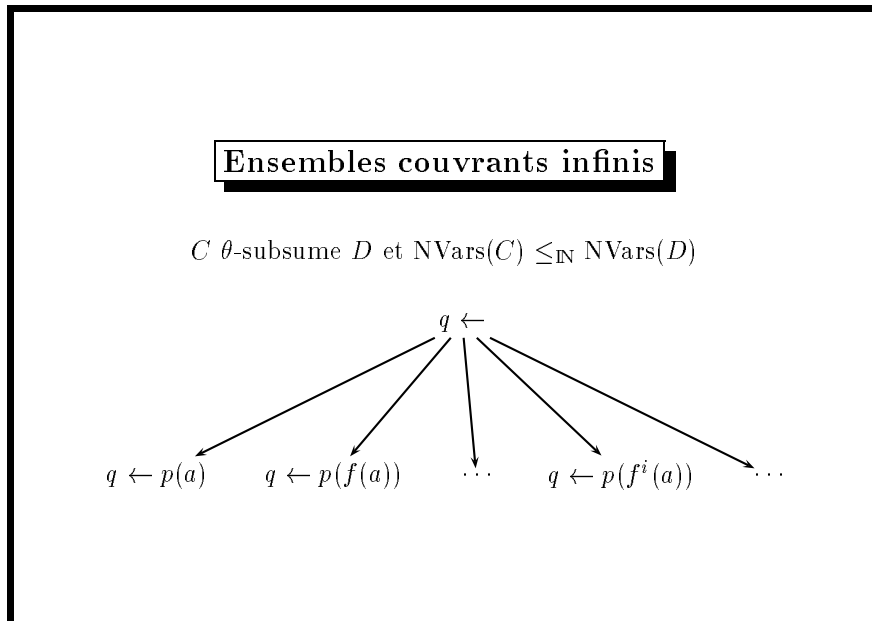
Slide 15



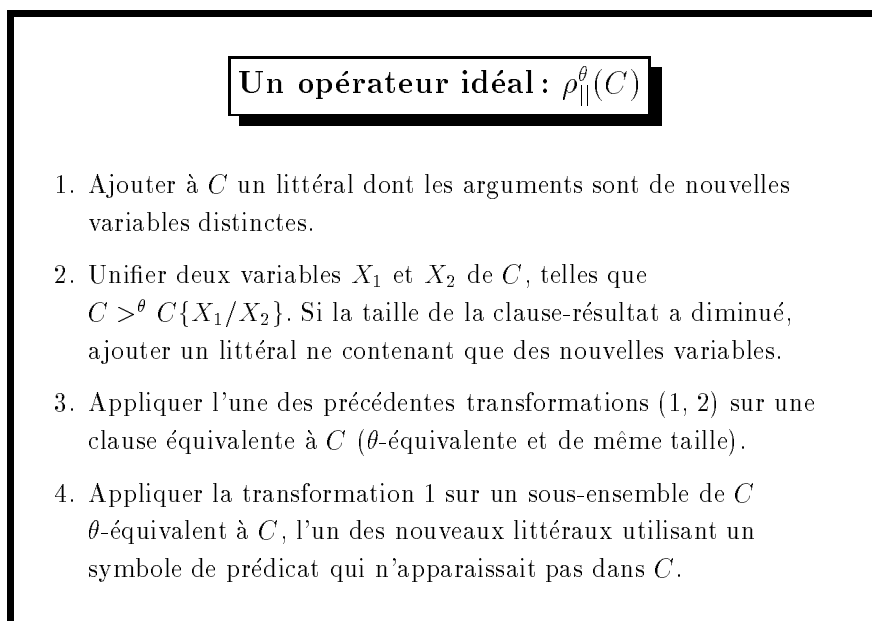
Slide 16



Slide 17



Slide 18



Slide 19

Conclusion

- Élagage dynamique par rapport aux biais de langage basé sur l'utilisation de nouveaux pré-ordres : les *relations naturelles*.
- Existence d'opérateurs idéaux pour des espaces non réduits ordonnés par les relations naturelles.

Autres travaux : • [Shapiro, 1981]
 • [Champesme et al., 1995, Esposito et al., 1996]

Perspectives : considérer d'autres familles d'opérateurs (opérateurs *optimaux* de [De Raedt and Bruynooghe, 1993]).

Slide 20

Références

- [Champesme et al., 1995] Champesme, M., Brézellec, P., and Soldano, H. (1995). Empirically conservative search space reductions. In Raedt, L. D., editor, *Proceedings of the 5th International Workshop on Inductive Logic Programming*, pages 387–402. Department of Computer Science, Katholieke Universiteit Leuven.
- [De Raedt and Bruynooghe, 1993] De Raedt, L. and Bruynooghe, M. (1993). A theory of clausal discovery. pages 1058–1063. Morgan Kaufmann.
- [Esposito et al., 1996] Esposito, F., Laterza, A., Malerba, D., and Semeraro, G. (1996). Refinement of datalog programs. In *Proceedings of the MLnet Familiarization Workshop on Data Mining with Inductive Logic Programming (ILP for KDD)*, pages 73–94.
- [Mitchell, 1982] Mitchell, T. M. (1982). Generalization as search. *Artificial Intelligence*, 18:203–226.
- [Mitchell, 1991] Mitchell, T. M. (1991). The need for biases in learning generalizations. In *Readings in Machine Learning*. Morgan Kaufmann.
- [Muggleton and Raedt, 1994] Muggleton, S. and Raedt, L. D. (1994). Inductive logic programming: Theory and methods. *Journal of Logic Programming*, 19:629–679.
- [Shapiro, 1981] Shapiro, E. Y. (1981). Inductive inference of theories from facts. Technical Report 192, Yale University Department of Computer Science.
- [van der Laag and Nienhuys-Cheng, 1994] van der Laag, P. and Nienhuys-Cheng, S. (1994). Existence and nonexistence of complete refinement operators. In Bergadano, F. and de Raedt, L., editors, *Proceedings of the 7th European Conference on Machine Learning*, volume 784 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 307–322. Springer-Verlag.