

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
Département d'informatique

**IFT 615**  
**Intelligence artificielle**

**Examen final**  
**Hiver 2008**

*Le mercredi 16 avril, 9 h à 12 h, au D7-2023*

**PROFESSEUR**

Froduald Kabanza, PhD

<http://www.planiart.usherbrooke.ca/kabanza>

**ASSISTANT**

Éric Beaudry, Msc

<http://www.planiart.usherbrooke.ca/eric>

**SOLUTIONS**

## Question 1 (5 points) – Unification et composition de substitutions

Dans ce qui suit,  $x, y, z$  et  $u$  sont des variables;  $a, b$  et  $c$  sont des constantes;  $f$  et  $g$  sont des symboles fonctionnels;  $p$  est un symbole de prédicat.

- a. (1 point) Calculez l'unificateur le plus général (upg) pour les littéraux  $p(x, f(x))$  et  $p(a, b)$ . Si l'unificateur n'existe pas, écrivez « n'existe pas » comme réponse.

N'existe pas

- b. (1 point) Calculez l'upg pour les littéraux  $p(x, f(x))$  et  $p(y, z)$ . Si l'unificateur n'existe pas, écrivez « n'existe pas » comme réponse.

$\{(y, x), (z, f(x))\}$  ou

$\{(x, y), (z, f(y))\}$

Note : les deux sont identiques. Unify donne l'un ou l'autre selon l'ordre des arguments arguments.  $\{(x, y), (z, f(y))\}$  est obtenu en composant  $\{(y, x), (z, f(x))\}$  o  $\{(x, y)\}$  dans cet ordre. Et vice-versa,  $\{(y, x), (z, f(x))\}$  est obtenu en composant  $\{(x, y), (z, f(y))\}$  o  $\{(y, x)\}$ . Cela semble contredire le fait que l'upg est unique et qu'il ne peut être obtenu en **composant** d'autres substitutions. En fait, les compositions ici consistent simplement à **renommer/échanger** les variables. La seule façon d'obtenir un des upg de l'autre est de renommer les variables. Donc, les upg sont le même upg et il est unique. L'upg le prédicat le plus générale.

- c. (1 point) Calculez l'upg pour les littéraux  $p(f(x, g(a, y)), z)$  et  $p(z, u)$ . Si l'unificateur n'existe pas, écrivez « n'existe pas » comme réponse.

$\{(z, f(x, g(a, y))), (u, f(x, g(a, y)))\}$

- d. (1 point) Donnez la composition de la substitution  $\{(x, y), (z, f(y))\}$  et  $\{(y, x)\}$ . Si la composition est impossible, écrivez « impossible » comme réponse.

$\{(y, x), (z, f(x))\}$

- e. (1 point) Donnez la composition de la substitution  $\{(x, f(y)), (y, z)\}$  et  $\{(x, a), (y, b), (z, c)\}$ . Si la composition est impossible, écrivez « impossible » comme réponse.

$\{(x, f(b)), (y, c), (z, c))\}$

## Question 2 (10 points) – Résolution

- a. (2 points) Exprimez l'histoire suivante en logique du premier ordre :

John est une personne. Fido est un chien. Fido se trouve toujours au même endroit que John. Toute personne est toujours quelque part. John est au restaurant. Si John est au restaurant alors il n'est pas à la librairie.

1.  $\text{personne}(\text{John})$
2.  $\text{chien}(\text{Fido})$
3.  $\forall x (\text{setrouve}(\text{John}, x) \rightarrow \text{setrouve}(\text{Fido}, x))$
4.  $\forall x (\text{personne}(x) \rightarrow \exists y \text{setrouve}(x, y))$
5.  $\text{setrouve}(\text{John}, \text{Restaurant})$
6.  $\text{setrouve}(\text{John}, \text{Restaurant}) \rightarrow \neg \text{setrouve}(\text{John}, \text{Librairie})$

- b. (2 points) Convertissez les formules de l'étape précédente sous forme de clauses. Ne donnez pas les étapes de conversion. Numérotez chacune des clauses pour pouvoir y faire référence dans la sous-question suivante.

1.  $\text{personne}(\text{John})$
2.  $\text{chien}(\text{Fido})$
3.  $\neg \text{setrouve}(\text{John}, x) \vee \text{setrouve}(\text{Fido}, x)$
4.  $\neg \text{personne}(y) \vee \text{setrouve}(y, f(y))$
5.  $\text{setrouve}(\text{John}, \text{Restaurant})$
6.  $\neg \text{setrouve}(\text{John}, \text{Restaurant}) \vee \neg \text{setrouve}(\text{John}, \text{Librairie})$

- c. (3 points) Utilisez la preuve par résolution pour prouver que Fido se trouve au restaurant. Indiquez clairement et avec précision toutes les étapes de la preuve.

*Exprimer l'assertion en logique du premier ordre*

setrouve(Fido, Restaurant)

*La nier et la mettre dans une forme clausale*

7.  $\neg \text{setrouve}(\text{Fido}, \text{Restaurant})$

*Effectuer la preuve par résolution :*

8.  $\neg \text{setrouve}(\text{John}, \text{Restaurant})$                       3, 7  $\{(x = \text{Restaurant})\}$

9. False    5, 8.

- d. (3 points) Utilisez la preuve par résolution pour déterminer où se trouve Fido.

*Exprimer en logique du premier ordre l'assertion « Fido se trouve quelque part »*

$\exists y \text{ setrouve}(\text{Fido}, y)$

*La nier, la mettre dans une forme clausale et ajouter un littéral pour retenir la trace de la réponse.*

7.  $\neg \text{setrouve}(\text{Fido}, y) \vee \text{Reponse}(y)$

*Effectuer la preuve par résolution :*

8.  $\neg \text{setrouve}(\text{John}, y) \vee \text{Reponse}(y)$                       3, 7  $\{(x = y)\}$

9.  $\text{Reponse}(\text{Restaurant})$                                       5, 8.  $\{(y = \text{Restaurant})\}$

### Question 3 (6 points) – Systèmes experts

Étant donné l'évolution technologique des nouveaux modèles de voitures, Nissan cherche à développer une application pour assister ses mécaniciens. La solution retenue est celle d'un système expert d'aide au diagnostic. Vous êtes pressenti pour diriger le projet de conception du système expert, mais il vous faut d'abord passer un test.

Soit les connaissances expertes suivantes, très simplifiées, pour le domaine du diagnostic automobile :

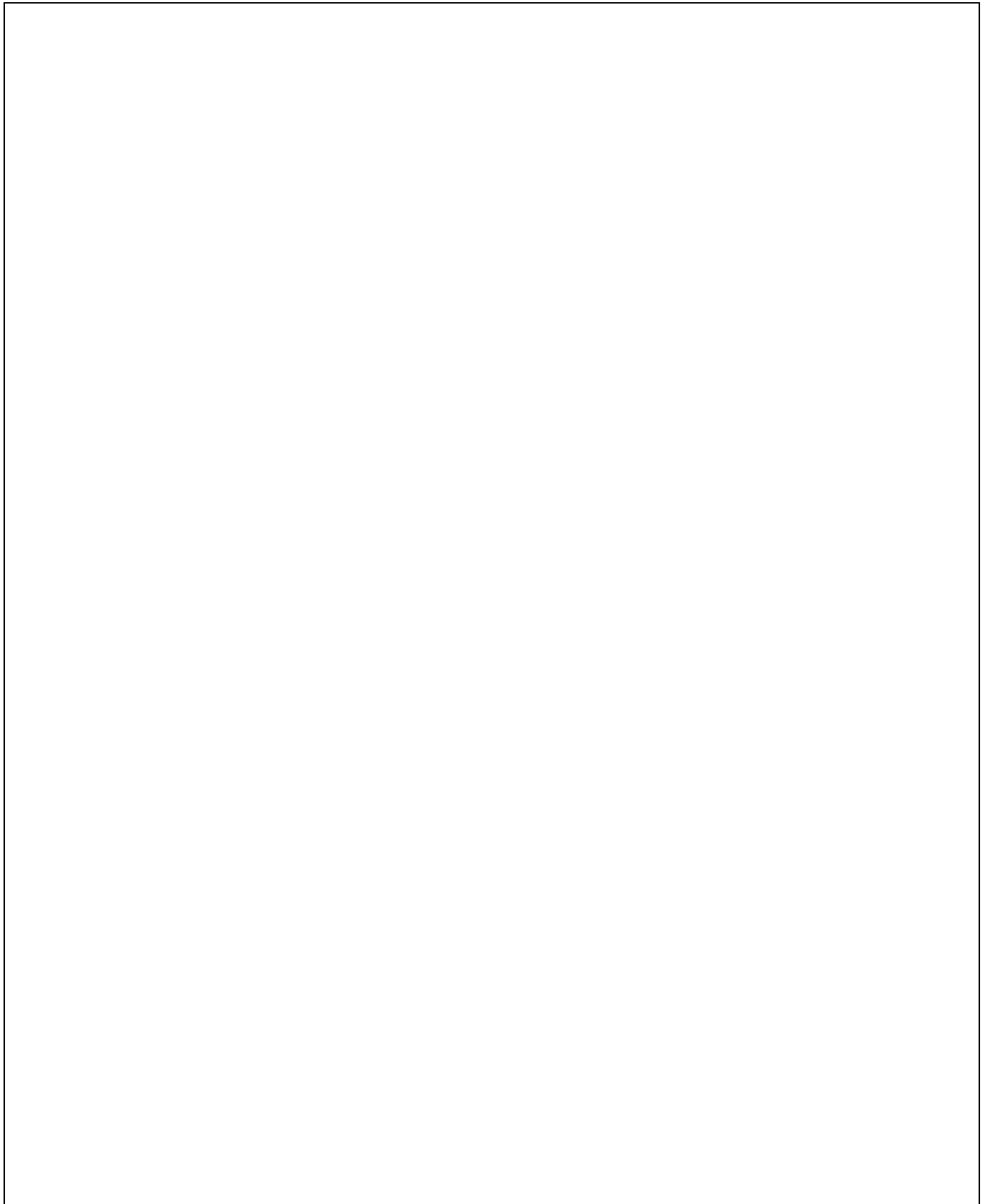
1. Si une voiture ne démarre pas, avec un réservoir d'essence plein, une batterie chargée et des bougies neuves, alors on a un problème de câblage électrique.
2. Si les lumières s'allument alors la batterie est chargée.
3. Si une voiture ne démarre pas, avec un réservoir d'essence plein et des bougies non remplacées depuis longtemps, alors on a un problème de bougies.

Supposons que les faits suivants sont initialement connus :

1. Le réservoir d'essence est plein.
2. Les lumières s'allument.

- a. (2 points) Spécifiez la base de connaissances et les faits précédents par des règles de production d'un système expert à chaînage arrière :

- b. (6 points) Donnez le graphe des traces d'exécutions possibles d'un système expert à chaînage arrière, avec la base des connaissances et les faits de l'étape précédente, jusqu'à une profondeur 3. Autrement dit, le graphe doit indiquer le nœud de départ, les successeurs possibles pour tous les cas de figure selon l'ordre de considération des règles par le moteur d'inférence et les successeurs de ces derniers. Si le moteur d'inférence tombe sur un fait non déductible des règles ou des faits connus, il doit poser des questions. Le graphe des traces d'exécutions doit refléter les questions posées et les réponses obtenues.



- c. (2 points) **Citez** deux approches les plus pertinentes que vous utiliseriez pour gérer l'incertitude inhérente à la base de connaissance pour ce type d'application. Par exemple, pour la première règle, au lieu d'affirmer avec certitude qu'il y a un problème de câblage il serait plus pratique de pouvoir quantifier le degré de confiance dans cette affirmation étant donné les prémisses correspondantes. **Expliquez** les avantages et les inconvénients de chacune des deux approches.

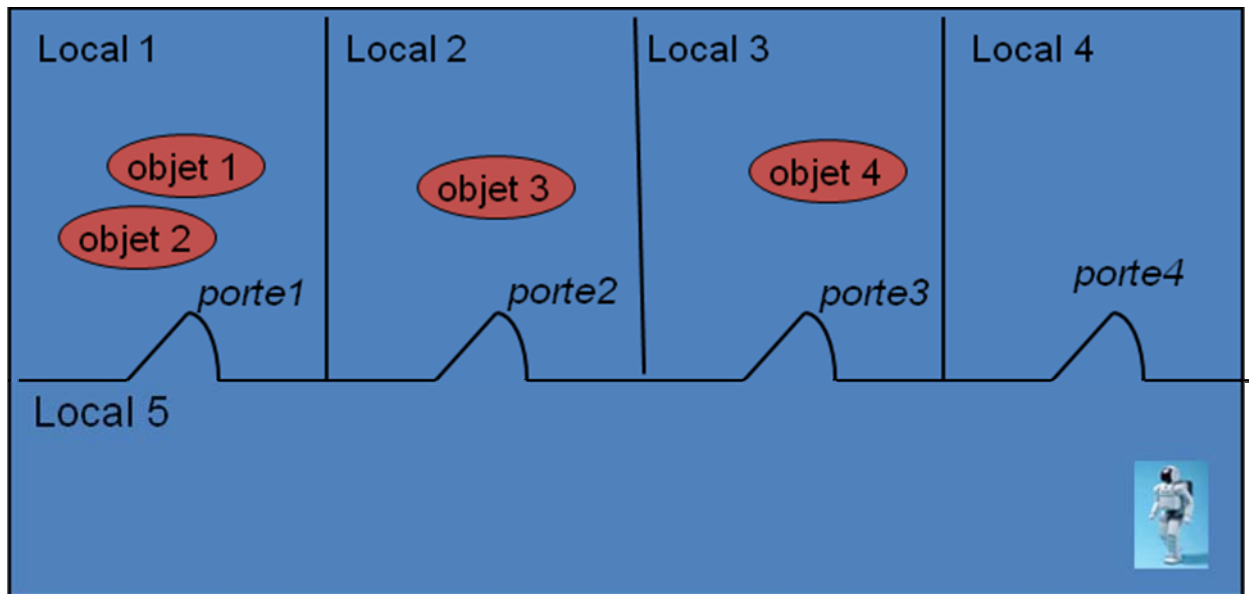


## Question 4 (6 points) – Planification

La compagnie Honda désire développer un planificateur pour son robot mobile ASIMO. On voudrait que le robot puisse déterminer par lui-même comment accomplir des tâches de livraison de colis dans un environnement bureautique. On suppose que l'environnement bureautique est divisé en locaux. L'équipe de conception d'ASIMO a déjà programmé des modules pour les comportements élémentaires suivants pour le robot :

1. localiser et prendre un colis se trouvant dans un même local que le robot;
2. aller d'un local donné à un autre (le problème de navigation et de recherche de chemin – *path-finding* – a été résolu et fonctionne bien);
3. relâcher un colis.

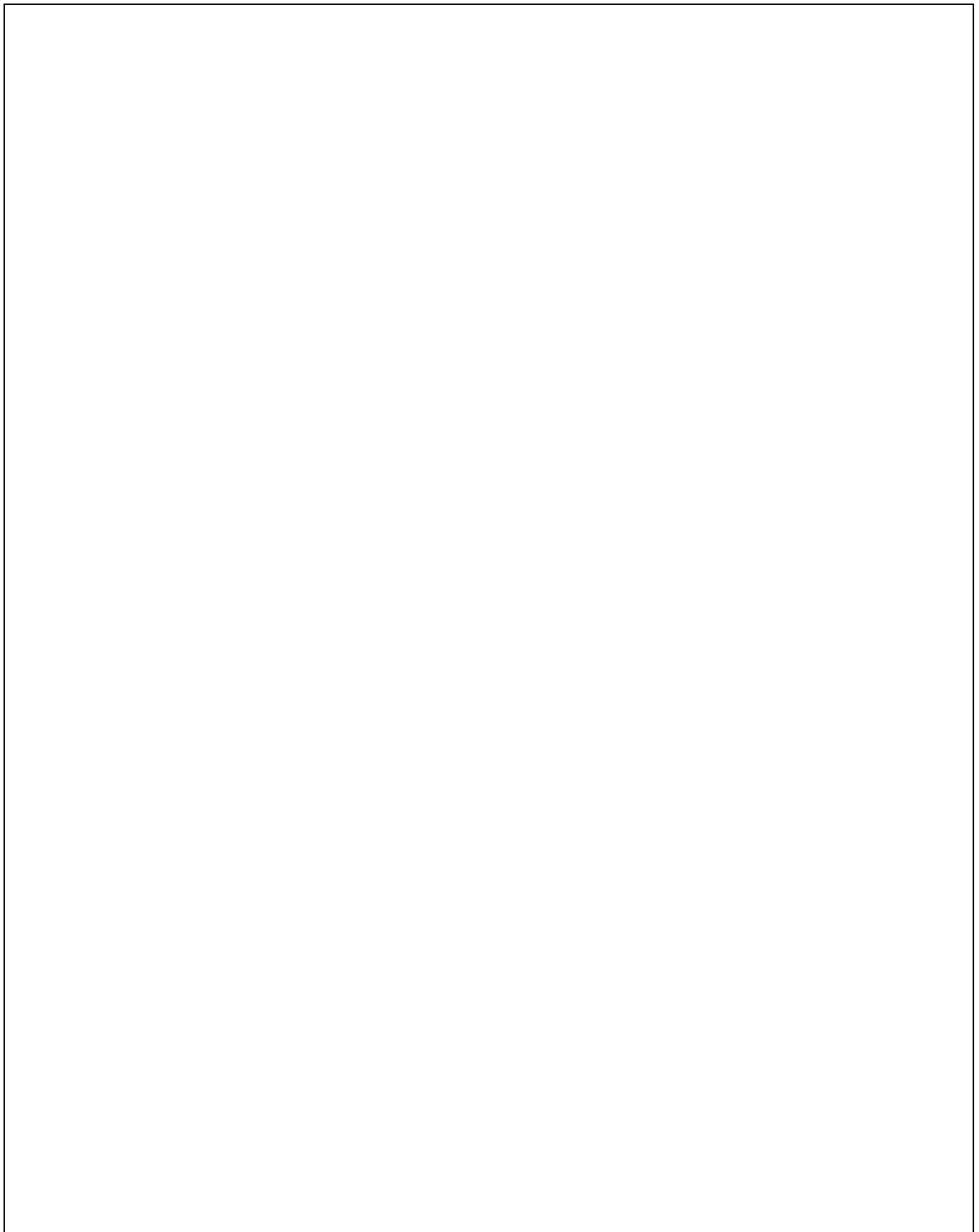
Chacun de ces comportements élémentaires est considéré comme une action.



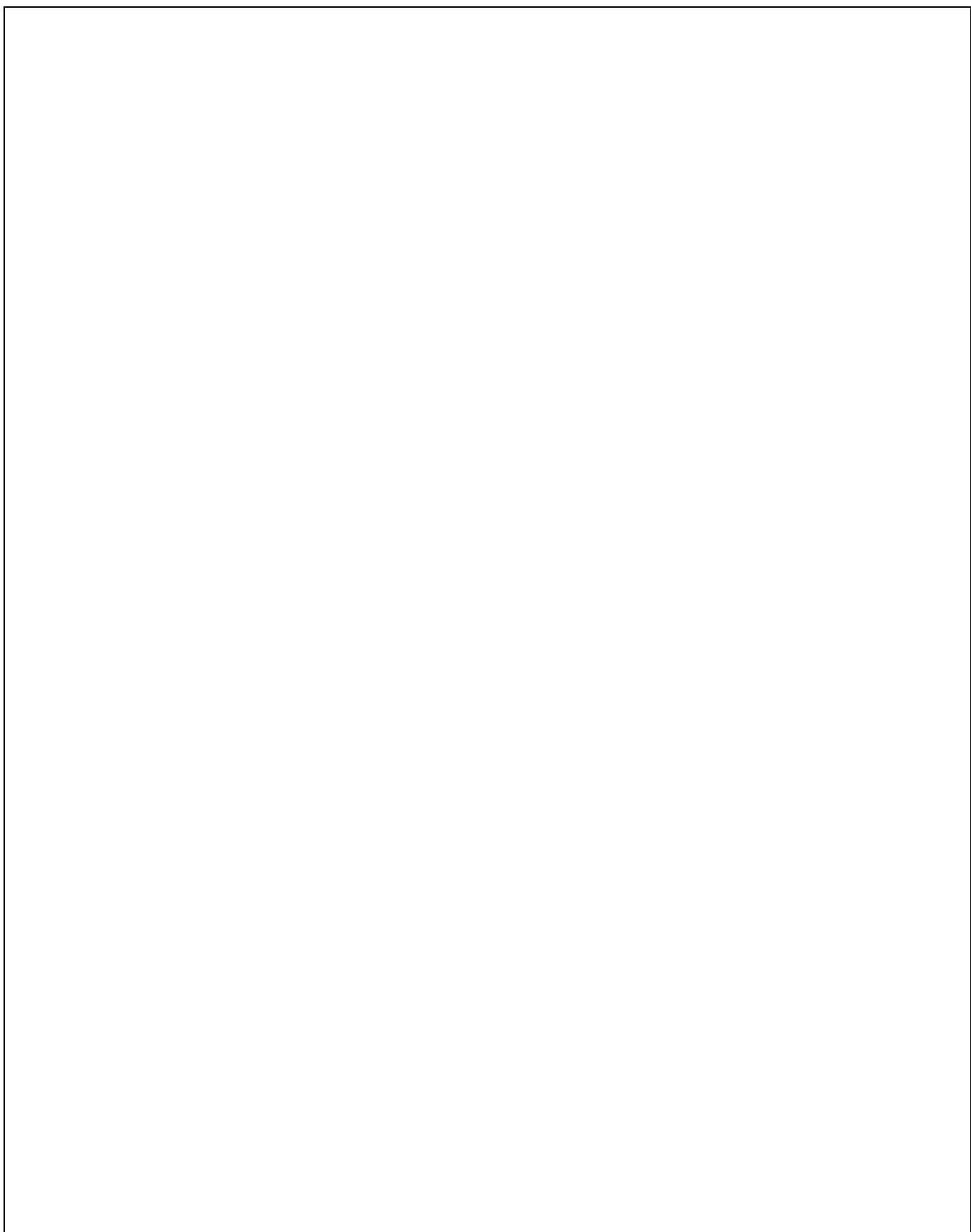
Étant donné une carte indiquant la configuration des locaux, on pourrait donner comme entrée au planificateur : une disposition initiale des objets dans les locaux (l'état initial) et une disposition finale (le but). Le planificateur devrait retourner comme solution la séquence des actions permettant au robot de transformer la situation initiale dans la situation finale, c'est-à-dire, d'arriver à une situation dans laquelle les colis sont livrés tel qu'indiqué dans le but. Par exemple, avec la carte précédente, on pourrait demander au robot de déplacer l'objet 1 dans le local 4.

Honda, ayant appris votre succès avec le système expert de son concurrent Nissan, aimerait vous confier le projet de développement de son planificateur. Mais, il vous faut d'abord passer un test.

- a. (2 points) Donnez une spécification des actions du robot en utilisant le langage de description des actions STRIPS. Votre spécification doit être générique et non spécifique à une configuration de locaux particulière.



- b. (2 points) En supposant un planificateur utilisant une recherche en largeur, dans l'espace d'états, avec les actions que vous venez de décrire, décrivez ci-après le graphe de recherche qui serait généré jusqu'à une profondeur de 3. En d'autres mots, vous devez donner le nœud/état initial, ses successeurs et les successeurs de ces derniers. L'état initial correspond à la situation décrite par la figure ci-haut (page 9); toutes les portes sont ouvertes.



- c. (2 points) En supposant un planificateur utilisant l'algorithme  $A^*$ , toujours avec une recherche dans l'espace d'états, et avec les actions que vous venez de décrire, décrivez **deux** heuristiques pour  $A^*$  qui accélérerait la recherche le plus possible. Expliquez dans chaque cas si l'heuristique est admissible ou non.

### Question 5 (3 points) - Exposé de Mathieu Beaudoin

La compagnie Honda n'aime pas trop une approche de planification basée sur l'algorithme A\*. Elle préférerait une approche qui utilise le raisonnement à base de cas. Expliquez brièvement les composantes principales d'un planificateur à base de cas que vous proposeriez pour le robot ASIMO, toujours pour le domaine de livraison de colis. Votre réponse doit être la plus complète et la plus précise possible dans les limites de l'espace alloué.