

**INTELIGENCE ARTIFICIELLE  
IFT615**

Département d'informatique  
Université de Sherbrooke

**EXAMEN FINAL, AUTOMNE 2006**

*Le jeudi 14 décembre, 9 h 00 à 12 h 00, au D7-2023.*

**PROFESSEUR**

Froduald Kabanza, PhD

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

**ASSISTANT**

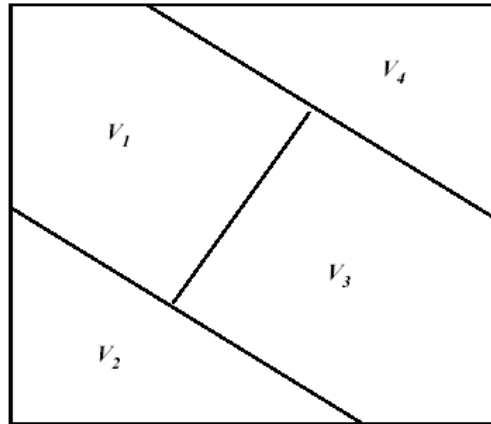
Éric Beaudry, Msc

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

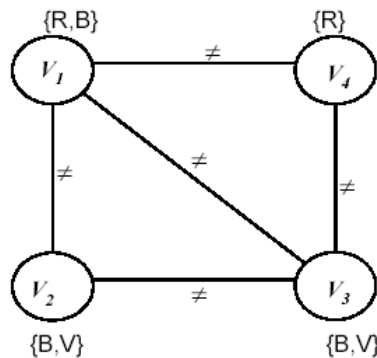
**SOLUTIONS**

## Question 1 (5 points)

Soit la carte suivante décrivant les frontières entre quatre villes ( $V_1, \dots, V_4$ ). On voudrait colorier la carte en utilisant seulement les couleurs rouge, bleu et vert, de sorte que  $V_1$  soient en rouge ou en bleu;  $V_2$  et  $V_3$  soient en bleu ou en vert; et  $V_4$  soit en rouge. Toutefois, deux villes adjacentes ne peuvent pas avoir la même couleur.



- a. (2 points) Donnez le graphe des contraintes modélisant ce problème comme un problème de satisfaction de contraintes. Vous devez clairement indiquer les domaines des variables et les contraintes entre ces dernières.



- b. (3 points) Donnez le résultat de l'algorithme AC-3 sur ce problème. Que concluez-vous de ce résultat?

$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	<i>Arc-consistency</i>	<b>Conclusion :</b> Le domaine d'une des variables ( $V_3$ ) devient vide. Il n'y a donc pas de solution.
{R, B}	{B, V}	{B, V}	{R}		
{B}	{B, V}	{B, V}	{R}	$V_1 - V_4$	
{B}	{V}	{B, V}	{R}	$V_1 - V_2$	
{B}	{V}	{B}	{R}	$V_2 - V_3$	
{B}	{V}	{}	{R}	$V_1 - V_3$	

## Question 2 (6 points)

a. (2 points) Exprimez chacune des assertions suivantes par une formule de logique du premier ordre.

i. (0.5 point) IFT615 est un cours.

cours(IFT615)

ii. (0.5 point) IFT451 est un cours.

cours(IFT451)

iii. (1 point) Chaque cours est suivi par au moins un étudiant qui aime tous les cours.

$\forall c1 \{ \text{cours}(c1) \rightarrow \exists e1 [\text{suit}(e1, c1) \wedge \forall c2 (\text{cours}(c2) \rightarrow \text{aime}(e1, c2))] \}$

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. cours(IFT615)

2. cours(IFT451)

3.1.  $\neg \text{cours}(c1) \vee \text{suit}(f1(c1), c1)$

3.2  $\neg \text{cours}(c3) \vee \neg \text{cours}(c2) \vee \text{aime}(f1(c3), c2)$

c. (2 points) Utilisez la preuve par résolution pour montrer qu'il existe quelqu'un qui aime IFT615 et IFT451.

*Exprimer l'assertion en logique du premier ordre*

$\exists e [aime(e, IFT615) \wedge aime(e, IFT451)]$

*La nier et la mettre dans une forme clausale*

$\neg aime(e, IFT615) \vee \neg aime(e, IFT451)$

*Effectuer la preuve par résolution :*

5.  $\neg cours(c4) \vee \neg cours(ift615) \vee \neg aime(fl(c4), IFT451)$  4, 3.2  $c2=IFT615, e1=fl(c3), c3$  standardisé à  $c4$

6.  $\neg cours(c5) \vee \neg aime(fl(c5), IFT451)$  5, 1  $c4$  standardisé à  $c5$

7.  $\neg aime(fl(ift451), IFT451)$  6, 2  $c5=IFT451$

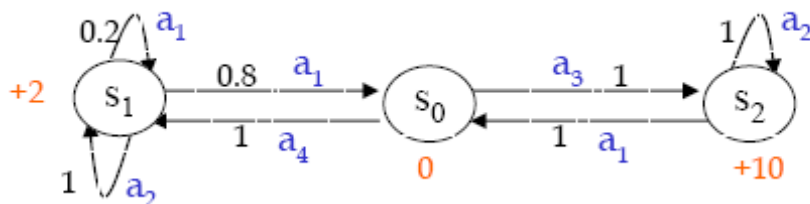
8.  $\neg cours(ift451) \vee \neg cours(ift615)$  7, 5  $c4=ift451$

9.  $\neg cours(ift451)$  8, 1

10.  $\square$  (clause vide) 9, 2

### Question 3 (5 points)

Soit le processus de décision markovien suivant, dont les transitions sont étiquetées par les noms des actions et les probabilités de transitions; les états sont étiquetés par les récompenses correspondantes (exprimant une fonction d'utilité).



- a. (3 points) Donnez les valeurs des états à la fin de deux itérations de l'algorithme value-itération, en supposant qu'on utilise un facteur d'atténuation (discount factor) de 0.9 et en partant initialement avec des valeurs des états toutes égales à 0.

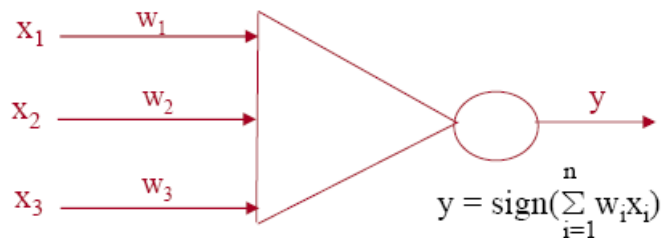
Valeur de $s_0 = 9$	itération	$S_1$	$S_0$	$S_2$
Valeur de $s_1 = 3.8$	0(initial)	0	0	0
Valeur de $s_2 = 19$	1	2	0	10
	2	3.8	9	19

- b. (2 points) Donnez le plan d'actions (*policy*) correspondant à ces valeurs.

$S_0 : a_3$
$S_1 : a_1$
$S_2 : a_2$

#### Question 4 (4 points)

Soit le neurone artificiel suivant.



En utilisant l'algorithme d'apprentissage du perceptron et un pas d'apprentissage de 0.3, donnez la sortie et les poids des connexions à la fin de la deuxième itération. Les poids initiaux sont  $w_1 = 0.75$ ,  $w_2 = 0.5$  et  $w_3 = -0.5$ . Les données d'entraînement à la première itération sont :  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$ , sortie-désirée = 1. À la deuxième itération les données sont :  $x_1 = 9$ ,  $x_2 = 6$ ,  $x_3 = 1$ , sortie-désirée = -1.

$$w_1 = -4.65$$

$$w_2 = -3.1$$

$$w_3 = -1.1$$

$$y = 1$$

$$\Delta w_i = c(d-y)x_i$$

$$0. \text{ Initialisation : } w = [w_1, w_2, w_3] = [0.75, 0.5, -0.5]$$

$$1. y = \text{sign}(0.75 \times 1 + 0.5 \times 1 - 0.5 \times 1) = \text{sign}(0.75) = 1;$$

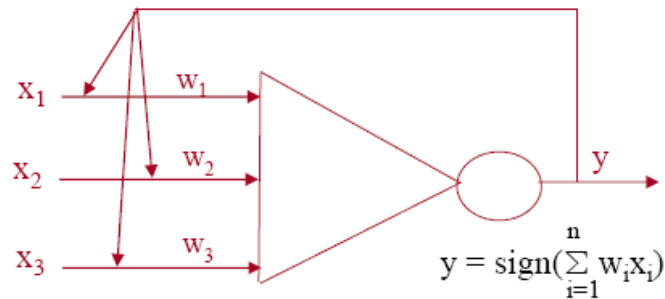
$$\Delta w = 0.3(1-1)X = 0; \text{ donc } w \text{ est inchangé.}$$

$$2. y = \text{sign}(0.75 \times 9.0 + 0.5 \times 6.0 - 0.5 \times 1) = \text{sign}(9.25) = 1;$$

$$\Delta w = -0.6 * X; \text{ donc } w = w - 0.6 * [9.0, 6.0, 1] = [-4.65, -3.1, -1.1]$$

## Question 5 (4 points)

Soit le neurone artificiel suivant.



En utilisant l'algorithme d'apprentissage hébbien (de Hebb) et un pas d'apprentissage de 0.3, indiquez les poids des connexions à la fin de la deuxième itération. Les poids initiaux sont  $w_1 = 0.75$ ,  $w_2 = 0.5$  et  $w_3 = -0.5$ . Les données d'entraînement à la première itération sont :  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$ . À la deuxième itération les données sont :  $x_1 = 9$ ,  $x_2 = 6$ ,  $x_3 = 1$ .

$$W_1 = 3.75$$

$$W_2 = 2.6$$

$$W_3 = 0.1$$

$$y = 1$$

$$\Delta w_i = c * y * x_i$$

0. Initialisation :  $w = [w_1, w_2, w_3] = [0.75, 0.5, -0.5]$

1.  $y = \text{sign}(0.75 \times 1 + 0.5 \times 1 - 0.5 \times 1) = \text{sign}(0.75) = 1$ ;

$$\Delta W = 0.3 * 1 * X = [0.3, 0.3, 0.3]$$

$$\text{donc } W = \Delta W + W = [1.05, 0.8, -0.2]$$

2.  $y = \text{sign}(1.05 \times 9.0 + 0.8 \times 6.0 - 0.2 \times 1) = \text{sign}(9.73) = 1$ ;

$$\Delta w = 0.3 * 1 * X = [2.7, 1.8, 0.3]$$

$$\text{donc } W = \Delta W + W = [3.75, 2.6, 0.1]$$

## Question 6 (6 points)

Choisissez l'énoncé qui est vrai.

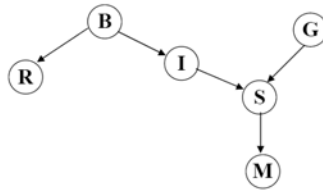
1. (1 point) L'algorithme d'apprentissage symbolique ID3

- ☒ a. Est dans la catégorie des algorithmes d'apprentissage supervisé.
- ☐ b. Est dans la catégorie des algorithmes d'apprentissage non supervisé.
- ☐ c. Aucune des deux affirmations précédentes n'est correcte.

2. (1 point) L'algorithme d'apprentissage symbolique ID3

- ☐ a. Procède par élimination de candidats.
- ☒ b. Produit un arbre de décision à partir d'une base de données.
- ☐ c. Utilise un système expert de prise de décision.
- ☐ d. Aucune des trois affirmations précédentes n'est correcte.

Soit le réseau bayésien suivant dans lequel les nœuds représentent des variables booléennes.



3. (2 points) Étant donné le réseau précédent

- a. G et R sont dépendants si on ne connaît la valeur d'aucun des nœuds.
- ☒ b. G et B sont indépendants si on ne connaît la valeur d'aucun des nœuds.
- c. On ne peut rien déterminer sur la dépendance entre G et B si on ne connaît la valeur d'aucun des nœuds.
- d. Aucune des trois affirmations précédentes n'est correcte.

4. (2 points) Étant donné le réseau précédent

- ☒ a. G et R sont dépendants si on connaît la valeur de S.
- b. G et R sont indépendants si on connaît la valeur de S.
- c. On ne peut rien déterminer sur la dépendance entre G et R si on connaît la valeur de S.
- d. Aucune des trois affirmations précédentes n'est correcte.