

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
Département d'informatique

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

**Examen final**  
**Été 2016**

Le mardi 9 août, 9 h 00 à 12 h 00, au D3-2041

CHARGÉ DE COURS

Frédéric Bergeron (*frederic.bergeron2@usherbrooke.ca*)

INSTRUCTIONS

L'examen dure 3 heures.

Le manuel (livre de référence) **n'est pas autorisé**. Par contre, deux (2) feuilles recto-verso de notes personnelles manuscrites sont autorisées.

La **calculatrice est acceptée**. Par contre, **tout autre appareil électronique est strictement interdit**, en particulier tout appareil muni d'un moyen de communication.

L'examen comporte **sept (7) questions** pour un total de **quarante (40) points**. Le questionnaire contient seize (16) pages incluant celle-ci.

Répondez directement sur le questionnaire aux endroits encadrés.

Des feuilles de brouillons vous sont fournies.

Ne détachez aucune feuille de ce questionnaire, hormis les feuilles brouillons.

Écrivez votre nom, prénom et matricule ci-dessous, puis signez.

NOM : \_\_\_\_\_ PRÉNOM : \_\_\_\_\_

MATRICULE : \_\_\_\_\_

SIGNATURE : \_\_\_\_\_

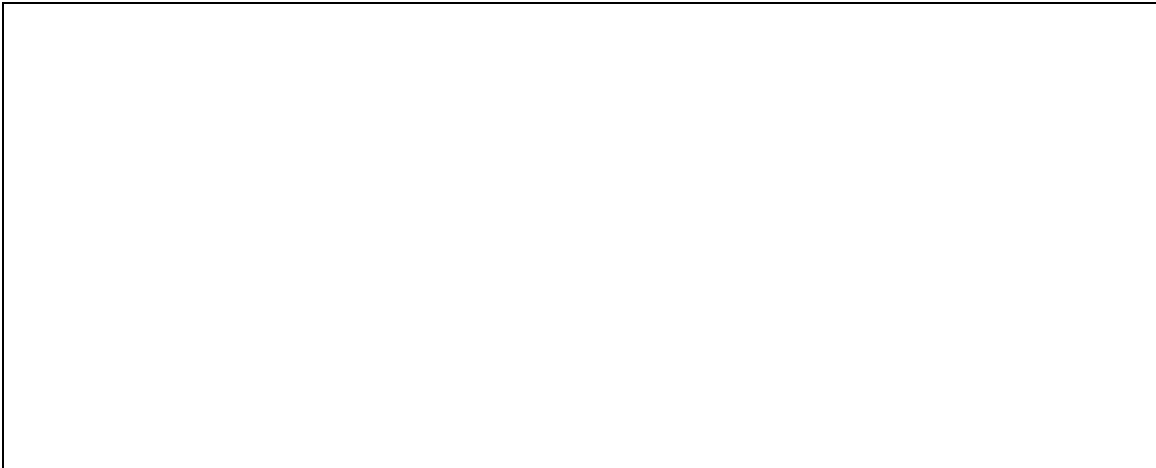
Q1 /5	Q2 /4	Q3 /6	Q4 /7	Q5 /6	Q6 /7	Q7 /5	TOTAL /40

### Question 1 (5 points) – Recherche locale

**a) (2 points)** Supposons que nous cherchons à maximiser la valeur d'une fonction quelconque à l'aide de l'algorithme de recuit simulé (*simulated annealing*). L'état de départ (état **COURANT**) se trouve au sommet d'un maximum local, c'est-à-dire que tous les états voisins ont une valeur inférieure à l'état **COURANT**. Notons **SUIVANT** comme étant l'état aléatoire successeur de **COURANT**. Expliquez comment l'algorithme va choisir le nœud qui sera le **COURANT** à la prochaine itération.

**b) (1.5 point)** Supposons toujours que nous sommes dans un maximum local d'une fonction que nous souhaitons maximiser à l'aide de l'algorithme de recuit simulé (*simulated annealing*). Quelle valeur de température (**T**) devrions-nous choisir pour nous échapper de ce maximum local le plus rapidement possible?

**c) (1.5 point)** Dans un algorithme génétique, que cherche-t-on à optimiser? Donnez un exemple de ce concret de cette fonction.



## Question 2 (4 points) – Logique du premier ordre

Dans ce qui suit,  $a$  et  $b$  sont des constantes,  $f, g$  et  $h$  des fonctions et  $x, y, z$  des variables et  $P, Q$  et  $R$  sont des prédicats.

**a) (2 points)** Calculer l'unificateur le plus général (UPG) des paires de clauses suivantes. Si l'unificateur n'existe pas, écrivez «n'existe pas» comme réponse.

i)  $P(a, x)$  et  $P(y, z)$

ii)  $P(f(x), g(x))$  et  $P(z, y)$

iii)  $P(f(x), h(z))$  et  $P(x, g(x))$

iv)  $P(a, g(f(x), h(x)))$  et  $P(y, z)$

**b) (2 points)** Soit les clauses suivantes :

1.  $\neg P(a, b)$
2.  $\neg P(a, b) \vee Q(b) \vee R(a)$
3.  $\forall x \forall y Q(x) \vee P(y, z) \vee \neg R(z)$
4.  $Q(b) \vee P(a, b) \vee S(a)$
5.  $\neg Q(a)$
6.  $Q(b) \vee P(a, a)$
7.  $R(b)$

Utilisez la preuve par résolution pour prouver qu'elles sont contradictoires. Vous devez indiquer clairement les différentes étapes, les clauses résolvantes à chaque étape et leurs unifications.

### Question 3 (6 points) – Réseaux bayésiens dynamiques

a) (2.5 points) Soit un réseau bayésien avec les probabilités conditionnelles suivantes :

A	P(B=vrai   A)
vrai	0.4
faux	0.2

A	C	P(D=vrai   A,C)
vrai	vrai	0.2
vrai	faux	0.6
faux	vrai	0.7
faux	faux	0,8

C	P(E C)
vrai	0,8
faux	0,1

P(A=vrai)
0.3

P(C=vrai)
0.3

i) (1 point) Dessinez le réseau bayésien représenté par ces probabilités.

ii) (1 point) Calculez la probabilité  $P(A=vrai, D=vrai, B=vrai, C=vrai, E=vrai)$ .

iii) (1 point) Calculez la probabilité  $P(B=vrai | A=vrai, C=vrai)$ .

**b) (3 points)** Les questions suivantes se rapportent au modèle de Markov caché.

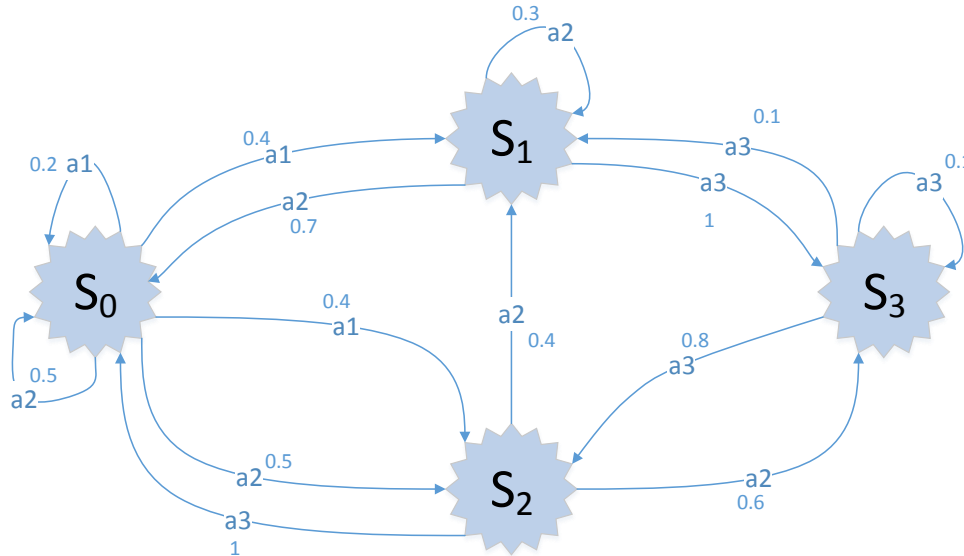
*i) (1 point)* Que permet de calculer le tableau **alpha** ( $\alpha$ )?

*ii) (1 point)* Que permet de calculer le tableau **pi** ( $\pi$ )?

*iii) (1 point)* Que permet de calculer le tableau **alpha étoile** ( $\alpha^*$ )?

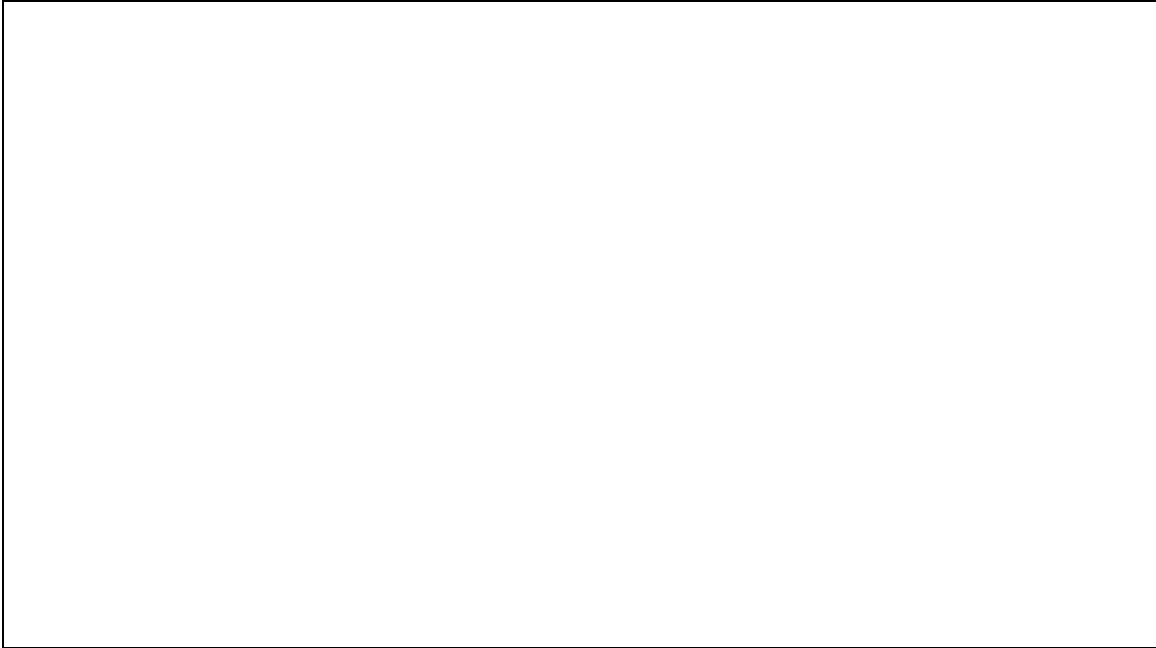
**Question 4 (7 points) – Processus de décision markovien et apprentissage par renforcement**

Soit le processus de décision markovien (PDM) ayant l'espace d'état  $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3\}$ , l'ensemble d'actions  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$  et la fonction de récompense  $R(s_0) = -1$ ,  $R(s_1) = -3$ ,  $R(s_2) = -2$  et  $R(s_3) = 5$ , un facteur d'escompte  $\gamma = 0.3$  et les distributions de transition suivantes :



**a) (3 points)** Simulez une itération de l'algorithme d'itération par valeur appliqué à ce PDM. Utilisez l'initialisation  $V(s_0) = 1$ ,  $V(s_1) = -3$ ,  $V(s_2) = -4$  et  $V(s_3) = 2$ .

**b) (2 points)** Donnez le plan qui serait retourné suite à l'étape de l'algorithme d'itération par valeur faite en a).



**c) (2 points)** Supposons maintenant que nous souhaitons faire l'apprentissage par renforcement par *Q-learning*. Utilisez la fonction de récompense  $R(s_0)=-1$ ,  $R(s_1)=-3$ ,  $R(s_2)=-2$  et  $R(s_3)=5$ , un taux d'apprentissage  $\alpha=0.2$  et un taux d'escompte  $\gamma=0.3$ . Soit l'initialisation de la fonction action-valeur suivante :

$$Q(s_0, a_1) = -2$$

$$Q(s_0, a_2) = -4$$

$$Q(s_1, a_3) = 3$$

$$Q(s_1, a_2) = 1$$

$$Q(s_2, a_3) = 2$$

$$Q(s_2, a_2) = 0$$

$$Q(s_3, a_3) = 0$$

Nous observons une **transition de l'état  $s_1$  vers l'état  $s_2$  après avoir exécuté l'action  $a_1$** . Exécutez la mise à jour de la fonction action-valeur à faire dans le cadre du *Q-learning*.





### Question 5 (6 points) – Apprentissage automatique

Soit l'ensemble d'entraînement suivant :

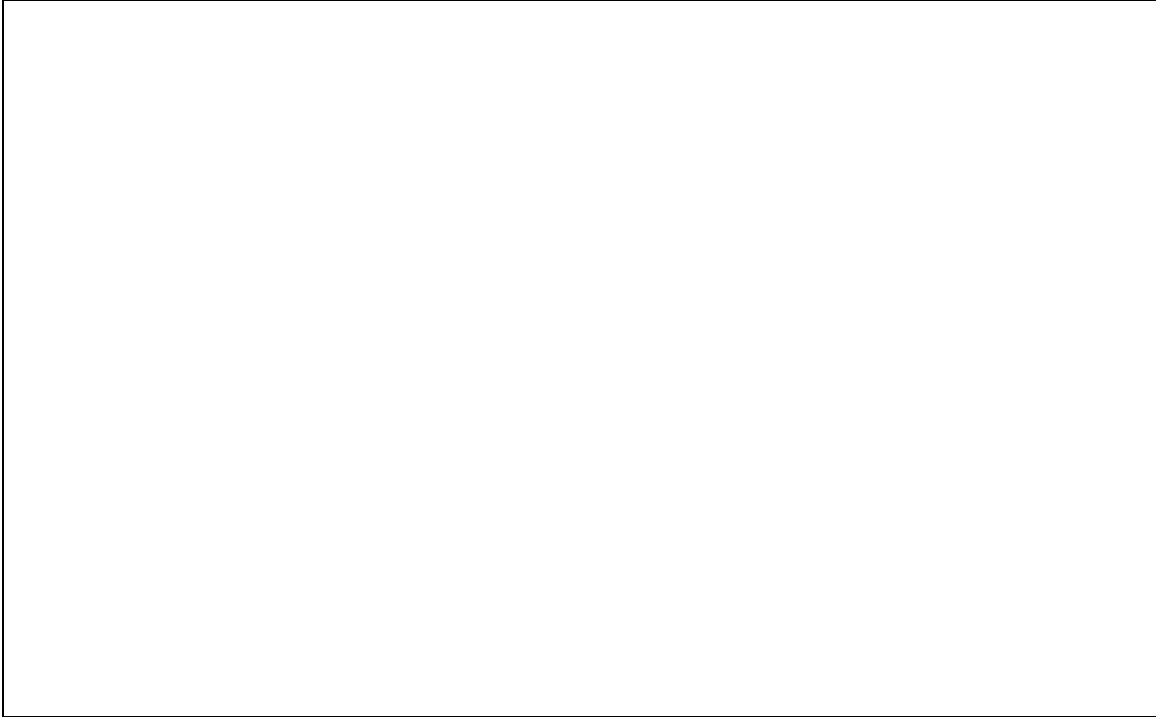
$x_t$	$y_t$
[0,0,-1]	1
[1,2,3]	0
[-1,0,4]	1
[2,3,2]	0
[0,1,2]	1
[4,3,5]	0

**a) (2 points)** Simulez une itération de l'algorithme de la régression logistique sur les trois premiers éléments de cet ensemble (donc  $x_1$ ,  $x_2$  et  $x_3$ ). Vous devez donc parcourir chacun des trois exemples une seule fois, du haut vers le bas. Utilisez un taux d'apprentissage  $\alpha = 0.1$ , et initialisez le vecteur de poids  $\mathbf{w}$  à [0,1,2] et le biais  $b$  à 0.6.

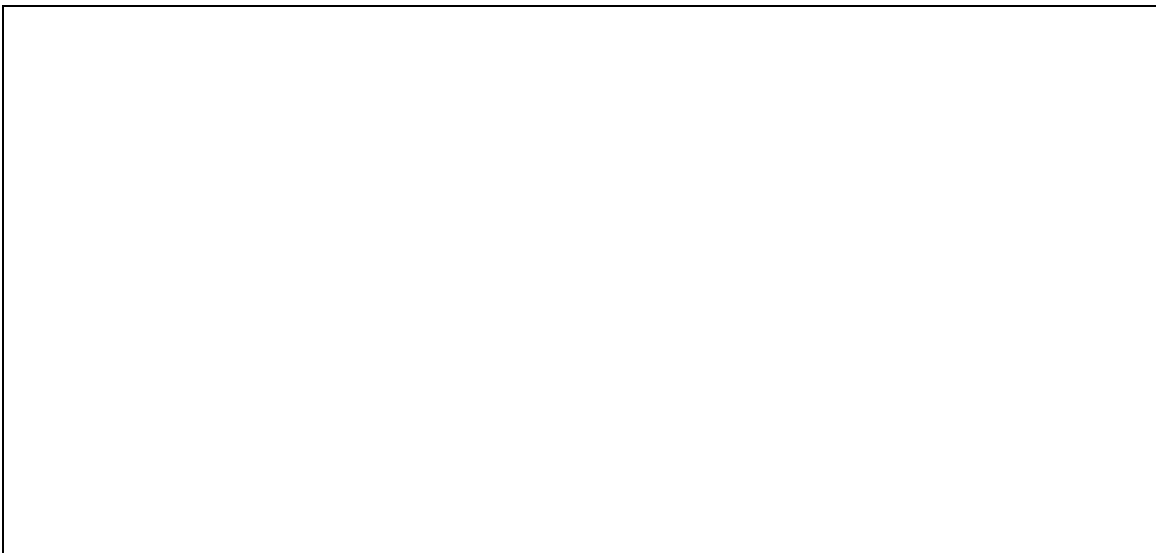
**b) (2 points)** La loi normale s'exprime comme suit :

$$G(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Calculez la dérivée partielle de  $G(x, \mu, \sigma)$  par rapport à  $x$ .



**c) (1 point)** Décrivez comment on peut développer de façon non biaisée un système basé sur un algorithme d'apprentissage automatique.



**d) (1 point)** Expliquez la relation entre l'erreur d'entraînement et l'erreur de test à l'aide des notions de généralisation, d'hyper-paramètres, de sous-apprentissage et de sur-apprentissage.



### Question 6 (7 points) –Vision par ordinateur et mise en contexte

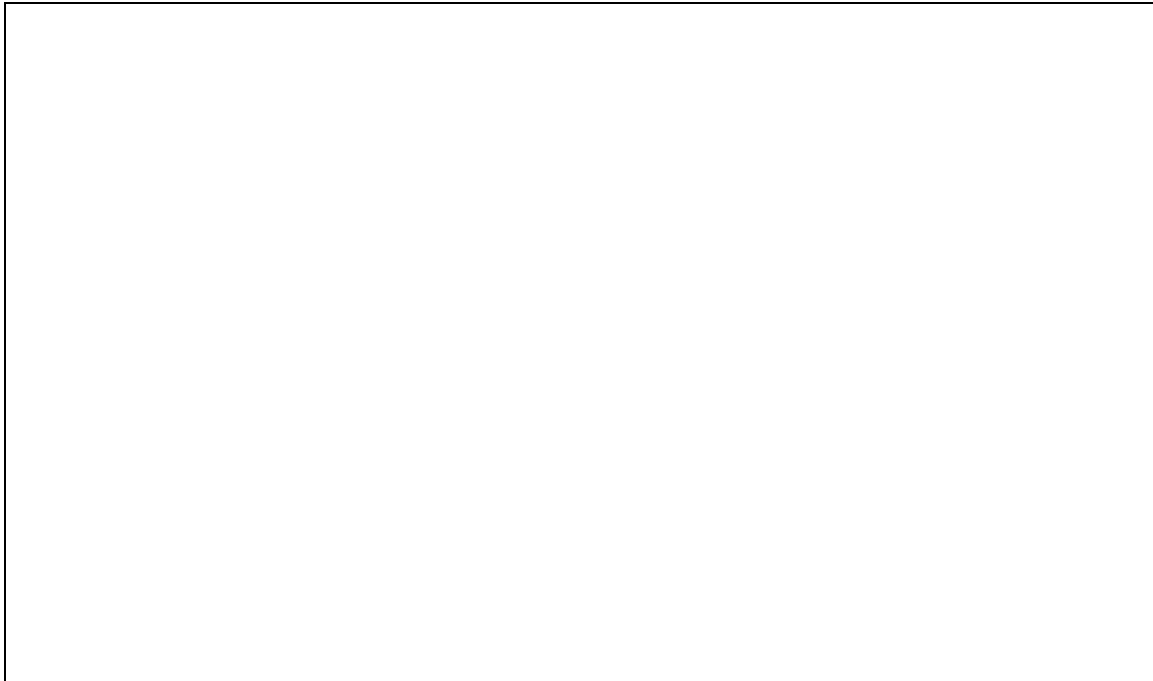
a) (3 points) Calculez le résultat de la corrélation de l'image X par le filtre W ci-dessous. Supposez une valeur maximale à 255.

0	64	255
0	64	128
64	128	128
255	32	0

X

0.25	0.5	0.25
0.5	0.75	0.5

W



b) (4 points) Vous devez concevoir un module pour un agent intelligent qui doit choisir des pièces musicales à faire écouter à un locataire d'un habitat intelligent en fonction de sa stabilité émotionnelle. Pour créer une situation simple, nous supposons que votre module ne connaît que la pièce (cuisine (Cu), salon (Sa), chambre (Ch) et bureau (Bu)) dans lequel se trouve le locataire. Les capteurs nous envoient cette information à chaque dix minutes. Si le locataire est dans une pièce au début d'un intervalle de 10 minutes alors il y sera pour tout l'intervalle. La variable qui nous intéresse est son état d'humeur et elle peut prendre deux valeurs : positive (+) ou négative (-). Plus précisément, le module doit identifier la séquence de ses états d'humeurs. Voici quelques exemples de séquence :

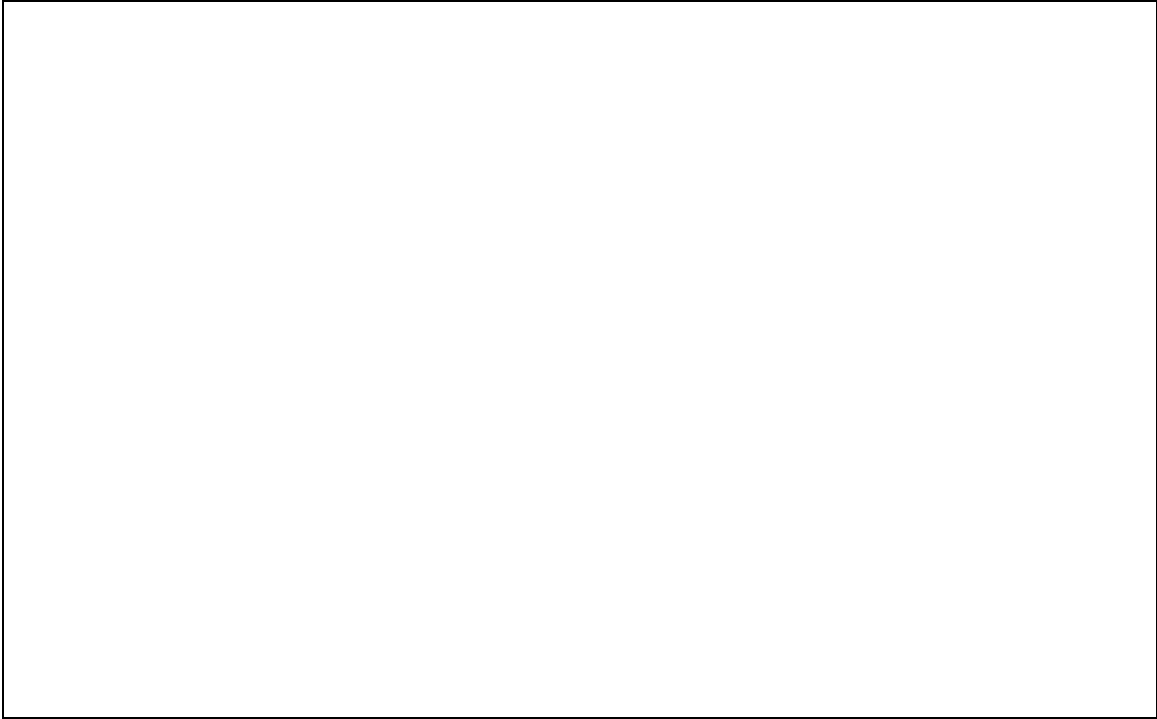
- [+++++] qui indique que le locataire est toujours d'humeur positive ;
- [- - - + +] qui indique que le locataire a commencé la journée d'une humeur négative, mais que par la suite elle est devenue positive.
- [- + - - -] qui indique le locataire traverse des cycles d'humeur positive et négative.

Pour que l'agent intelligent puisse choisir la pièce musicale appropriée, il est important de connaître la séquence exacte des états d'humeur du locataire. Cependant, c'est impossible de connaître la séquence exacte, mais on voudrait au moins savoir la séquence la plus probable. Le problème est que les capteurs nous donnent sa position, mais pas son état d'humeur.

Heureusement, des données antérieures sur le locataire nous apprennent que s'il est d'une humeur positive, alors à un moment il y a 6 chances sur 10 qu'il le soit 10 minutes plus tard, sinon il est d'une humeur négative. S'il est d'une humeur négative, alors il y a une chance sur 2 qu'il le soit encore dans 10 minutes. De même que les probabilités qu'il soit d'une humeur  $x$  pour un intervalle de temps donné dépendent uniquement de son humeur lors de l'intervalle précédent, la probabilité qu'il soit dans une pièce pour un intervalle de temps dépend uniquement de son humeur lors de cet intervalle de temps. S'il est d'une humeur positive, alors il a 3 chances sur 10 qu'il soit dans la cuisine, 2 chances sur 10 qu'il soit dans sa chambre, 2 chances sur 10 qu'il soit dans le salon et 3 chances sur 10 qu'il soit dans le bureau. S'il est d'une humeur négative, alors il a 3 chances sur 10 qu'il soit dans la chambre, 2 chances sur 10 qu'il soit dans le bureau, 2 chances sur 10 qu'il soit dans la cuisine et 3 chances sur 10 qu'il soit dans le salon. Il est impossible de prévoir dans quelle humeur il sera au début d'une séquence, vous pouvez assumer qu'il y a au tant de chance qu'il soit d'une humeur positive que d'une humeur négative.

*i) (1 point)* Parmi les modèles vus en classe, lequel semble le plus approprié pour cette situation?

*ii) (3 points)* Expliquez intuitivement comment le modèle s'utilise dans cette situation. Vous devez, entre autres, décrire ce qui vous semble pertinent à ce modèle parmi les suggestions suivantes : les variables, les états, les états successeurs, la fonction objectif, le modèle de transition, les probabilités initiales, le modèle d'observation, la règle d'apprentissage, la condition d'arrêt.



**Question 7 (4 points) – Questions diverses**

**a) (0.5 point)** À quel type d'agent se rattachent les algorithmes de jeux à deux adversaires?

**b) (0.5 point)** À quel type d'agent se rattachent les algorithmes de raisonnement probabilistes?

**c) (1 point)** Dans  $A^*$ , à quelle condition une heuristique est-elle admissible?

**d) (1 point)** Qu'est-ce que le modèle PEAS? Donnez une courte description générale ainsi qu'une courte description de chaque composante.

**e) (1 point)** Pourquoi est-il important d'appliquer une technique de lissage à un modèle de langage? Donnez aussi un exemple de technique de lissage.

f) (1 point) Décrivez une façon d'améliorer un algorithme de satisfaction de contraintes.

Fin de l'examen

