Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Carthage
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Carthage

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة قرطاج
المدرسة الوطنية للمهندسين بقرطاج

Correction Devoir Surveillé
Matière : Intelligence Artificielle

Enseignant(es)	: M. Fourati & H. Ghazouani	**Date**	: 19/03/2020
Filière / Classe	: 2ère Ingénieur Informatique	**Durée**	: 1h30
Barème indicatif	: **2.5-9.25-9.5**	**Documents**	: ~~aut.~~ / non aut.
Nbre. de pages	: **6 pages**	**Calculatrice**	: ~~aut.~~ / nonaut.

Nom :……………………………………….. **Prénom :……………………………** **Salle :……………………..**

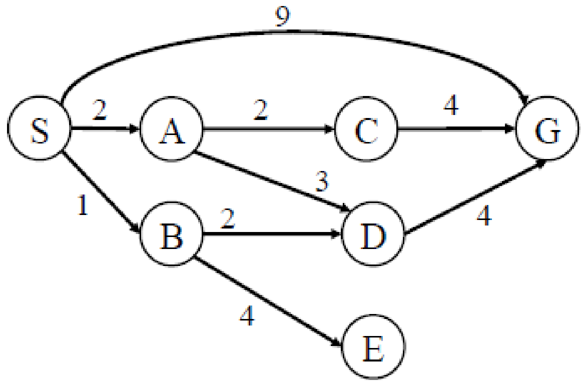
Exercice 1 Vrai ou Faux (2.5 points) 2.5 points

Répondre par vrai ou par faux. Vous avez 0.25 par bonne réponse et -0.25 par mauvaise réponse.

	VRAI	FAUX
L'algorithme de recherche en profondeur d'abord est complet si l'espace d'états est fini (**en graphe**)	X	
Dans un problème Si h_1 et h_2 sont admissibles et que h_3= min(h_1,h_2) est admissible et est meilleure pour la recherche pour l'algorithme A*.		X
Une exploration en profondeur d'abord générera au moins autant de nœuds qu'une exploration avec A* avec une heuristique admissible et consistante.		X
Une exploration par le meilleur d'abord est complète est optimale lorsque l'heuristique est admissible et consistante et que le coût du chemin ne décroit jamais.		X
Lors d'une exploration, l'algorithme RBFS coupe une branche dès qu'il manque d'espace mémoire.		X
L'algorithme SMA* qui utilise une heuristique admissible et consistante est toujours complet.		X
Lorsque le chemin pour le but n'est pas important, la recherche locale n'est pas adaptée.		X
L'algorithme Hill Climbing s'arrête lorsqu'il trouve une solution optimale globale.		X
L'algorithme *Backtracking search* appelle la procédure de cohérence locale d'arcs.		X
Pour un problème CSP donné, si l'algorithme de consistance d'arcs AC-3 élimine un arc, alors l'algorithme de résolution *Forward checking* l'éliminera aussi.		X

Exercice 2 : Recherche dans un espace d'états 9 points) 9.25 points

La figure 3 suivante représente le graphe d'états d'un problème. L'état initial est *S* et le seul état but est le *G*. Une heuristique *h* est également donnée.



Heuristique h

S	A	B	C	D	E	G
6	0	6	4	1	10	0

1. Dire si *h* est admissible. Expliquer.

1 pt

	S	A	B	C	D	E	G
h	6	0	6	4	1	10	0
*h**	7	6	6	4	4	∞	0

∀ I état, $h(I) \leq h^*(I)$, donc *h* est admissible. **0.25 pt**

2. Pour chacune des méthodes de recherche suivantes indiquer quel but est atteint. Donner à chaque étape les nœuds sur la frontière ainsi que le nœud choisi pour développement. En cas d'égalité entre les nœuds, choisir les nœuds en priorité dans l'ordre alphabétique *: A B, C …*

   a. Coût uniforme avec une exploration **en graphe**. **1.75 pt (0.25/ligne)**

Nœuds sur la frontière	Nœud choisi pour être développé	Chemin parcouru
(S,0)	(S,0)	[S]
(B,1), (A,2), (G,9)	(B,1)	[S,B]
(A,2), (D,3), (E,5), (G,9)	(A,2)	[S,A]
(D,3), (C,4), (E,5), (G,9)	(D,3)	[S,B,D]
(C,4), (E,5), (G,7)	(C,4)	[S,A,C]
(E,5), (G,7)	(E,5)	[S,B,E]
(G,7)	(G,7)	[S,B,D,G] arrêt

Séquence choisie pour être exécutée :
S-B-D-G **0.25 pt**

3. Meilleur d'abord **en arbre**.
   a. **0.75 pt (0.25/ligne)**

Nœuds sur la frontière	Nœud choisi pour être développé	Chemin parcouru
(S,6)	(S,6)	[S]
(A,0), (G,0), (B,6)	(A,0)	[S,A]
(G,0), (D,1), (C,4), (B,6)	(G,0)	[S,G] arrêt

Séquence choisie pour être exécutée :
S-G **0.25 pt**

b. A* **en graphe**.

1.5 pt (0.25/ligne)

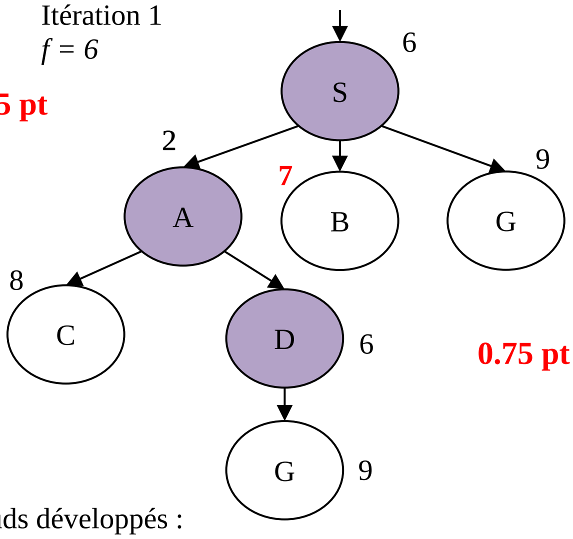
Nœuds sur la frontière	Nœud choisi pour être développé	Chemin parcouru
(S,6)	(S,6)	[S]
(A,2), (B,7), (G,9)	(A,2)	[S,A]
(D,6), (B,7), (C,8), (G,9)	(D,6)	[S,A,D]
(B,7), (C,8), (G,9)	(B,7)	[S,B]
(C,8), (G,9), (E,15)	(C,8)	[S,A,C]
(G,8), (E,15)	(G,8)	[S,A,C,G] arrêt

Séquence exécutée :
S-A-C-G **0.25 pt**

c. IDA* **<u>en arbre</u>**. Donner pour chaque itération l'arbre d'exploration (contenant les nœuds développés ainsi que la frontière), la valeur de f limite, ainsi que les nœuds développés, en les énumérant. Il faut donner tous les nœuds développés dans l'ordre de leur développement.

Itération 1
f = 6

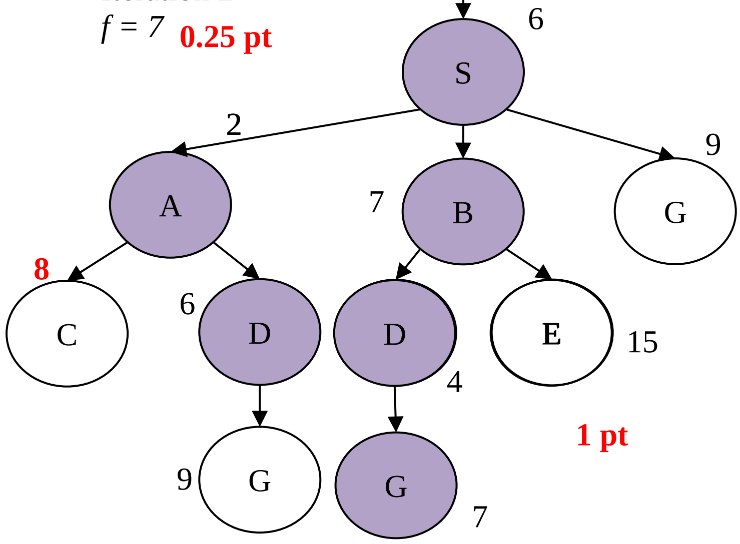
0.25 pt



0.75 pt

Nœuds développés :
S-A-D
0.25 pt

Itération 2
f = 7 **0.25 pt**



1 pt

Nœuds développés : S-A-D-B-D-G **0.25 pt**
Il est à noter que D est exploré 2 fois puisqu'on fait une recherche en arbre et il n'y a pas de file « explorée »

4. Est-ce que l'algorithme A* en graphe trouve une solution optimale ? Essayer d'expliquer brièvement.

Non, puisque *h* est non consistante. **0. 5 pt**

<u>Exercice 3 :</u> (CSP - Résolution : 8.5 points) **9.5 points**

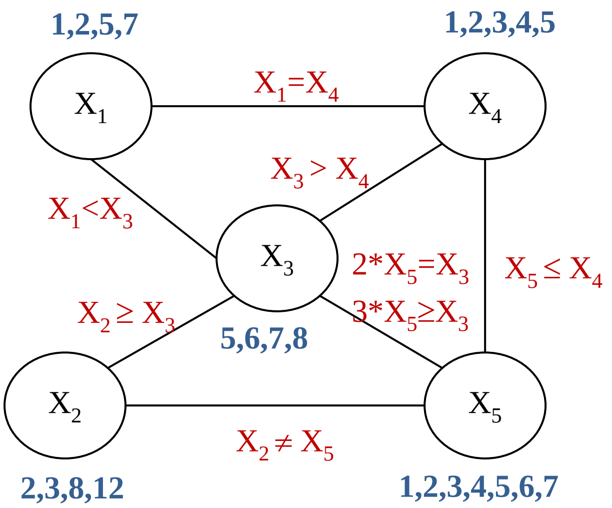
Soit le CSP binaire discret à variables entières P=(X,D,C) suivant :

- X = {X1,X2,X3,X4,X5}
- D(X1)={1,2,5,7}
- D(X2)={2,3,8,12}
- D(X3)={5,6,7,8}
- D(X4)={1,2,3,4,5}
- D(X5)={1,2,3,4,5,6,7}
- C = {c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8} avec
  - c1 : X1=X4
  - c2 : X5≤X4
  - c3 : X2 ≥X3
  - c4 : X2≠X5
  - c5 : X1<X3
  - c6 : X3>X4
  - c7 : 3*X5≥X3
  - c8 : 2*X5=X3

1. Dessinez le graphe de contraintes correspondant à P (préciser les contraintes binaires sur les arcs et les domaines sur les nœuds).

0.5 pts pour les domaines

2 pts pour les contraintes



2. Utiliser l'algorithme de Backtracking avec Forward Checking et en adaptant l'heristique MRV afin de résoudre le problème. Spécifier les domaines des variables à chaque étape. Pour les variables, et en cas d'égalité, Il faut supposer l'ordre d'assignation croissant selon les indices (X_1, X_2, …). Pour les choix de valeurs, favoriser toujours les plus petites. Spécifier les domaines des variables à chaque étape<u>. Il faut bien montrer l'appel de la consistance d'arc, en indiquant les arcs à traiter et le résultat de l'appel.</u>

Assignation	Dom X_1	Dom X_2	Dom X_3	Dom X_4	Dom X_5	Arcs
Init	1,2,5,7	2,3,8,12	5,6,7,8	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5,6,7	
$X_1=1$	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	1,2,3,4,5 1,~~2,3,4,5~~	1,2,3,4,5,6,7 1,2,3,4,5,6,7	$X_1 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_1 \leftarrow X_4$
$X_4=1$	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	**1** **1**	1,2,3,4,5,6,7 1,~~2,3,4,5,6,7~~	$X_4 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_4 \leftarrow X_5$
$X_5=1$	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 ~~5,6,7,8~~ **BACK**	**1** **1**	**1**	$X_5 \leftarrow X_2$ **0.5 pt** $X_5 \leftarrow X_3$
$X_1=2$	**2** **2**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	1,2,3,4,5 ~~1~~,2,~~3,4,5~~	1,2,3,4,5,6,7 1,2,3,4,5,6,7	$X_1 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_1 \leftarrow X_4$
$X_4=2$	**2** **2**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	**2** **2**	1,2,3,4,5,6,7 1,2,~~3,4,5,6,7~~	$X_4 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_4 \leftarrow X_5$
$X_5=1$	**2** **2**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 ~~5,6,7,8~~ **BACK**	**2** **2**	**1** **1**	$X_5 \leftarrow X_2$ **0.5 pt** $X_5 \leftarrow X_3$
$X_5=2$	**2** **2**	~~2~~,3,8,12 ~~2~~,3,8,12	5,6,7,8 ~~5,6,7,8~~ **BACK**	**2** **2**	**2** **2**	$X_5 \leftarrow X_2$ **0.5 pt** $X_5 \leftarrow X_3$
$X_1=5$	**5** **5**	2,3,8,12 2,3,8,12	~~5~~,6,7,8 ~~5~~,6,7,8	1,2,3,4,5 ~~1,2,3,4~~,5	1,2,3,4,5,6,7 1,2,3,4,5,6,7	$X_1 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_1 \leftarrow X_4$
$X_4=5$	**5** **5**	2,3,8,12 2,3,8,12	6,7,8 6,7,8	**5** **5**	1,2,3,4,5,6,7 1,2,3,4,5,~~6,7~~	$X_4 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_4 \leftarrow X_5$
$X_3=6$	**5** **5**	~~2,3~~,8,12 8,12	**6** **6**	**5** **5**	1,2,3,4,5 ~~1,2~~,3,4,~~5~~	$X_3 \leftarrow X_2$ **0.5 pt** $X_3 \leftarrow X_5$

Assignation	Dom X_1	Dom X_2	Dom X_3	Dom X_4	Dom X_5	Arcs
$X_5=3$	**5**	~~2,3~~,8,12	**6**	**5**	**3**	$X_5 \leftarrow X_2$ **0.25 pt**
$X_2=8$	**5**	**8**	**6**	**5**	**3**	**0.25 pt**

3. Nous voulons utiliser l'algorithme MAC avec l'heuristique MRV afin de résoudre ce problème et en cas d'égalité l'ordre d'assignation croissant selon les indices (X1, X2, …). Pour les choix de valeurs, favoriser toujours les plus petites. Spécifier les domaines des variables à chaque étape. On vous demande de donner le résultat après uniquement la première assignation. Il faut montrer le résultat de l'appel de la procédure de consistance d'arcs en montrant tous les arcs à traiter et le résultat de l'appel.

Assignation	Dom X_1	Dom X_2	Dom X_3	Dom X_4	Dom X_5	Arcs
Init	1,2,5,7	2,3,8,12	5,6,7,8	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5,6,7	
$X_1=1$	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	1,2,3,4,5 1,~~2,3,4,5~~	1,2,3,4,5,6,7 1,2,3,4,5,6,7	$X_1 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_1 \leftarrow X_4$
Propagation 1	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 5,6,7,8	1 1	1,2,3,4,5,6,7 1,~~2,3,4,5,6,7~~	$X_4 \leftarrow X_3$ **0.5 pt** $X_4 \leftarrow X_5$
Propagation 2	**1** **1**	2,3,8,12 2,3,8,12	5,6,7,8 ~~5,6,7,8~~ **BACK**	1 1	1 1	$X_5 \leftarrow X_2$ **0.5 pt** $X_5 \leftarrow X_3$