

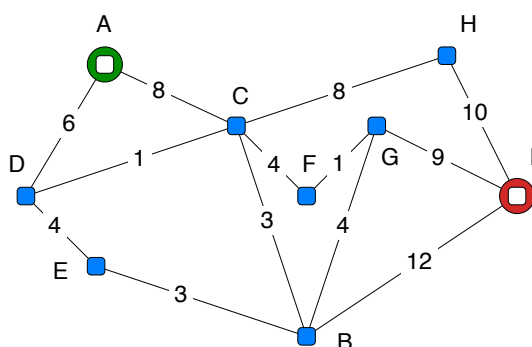
**Intelligence artificielle**  
 17 mai 2010  
 1h30 - Aucun document autorisé

**Exercice 1 (3 points)**

1. Donner certaines caractéristiques extrinsèques et intrinsèques d'agents ; expliquer brièvement
2. Décrire une architecture générale d'agent avec état et une sans état ; expliquer les différences

**Exercice 2 (8.5 points)**

Considérer la carte suivante. Le but est de trouver le chemin le plus court de A vers I.



Le coût de chaque connexion est indiqué. Deux heuristiques  $h_1$  et  $h_2$  sont données comme suit :

Nœud	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$h_1$	19	10	13	13	14	8	6	8	0
$h_2$	21	11	12	13	13	6	7	5	0

1. Est-ce que  $h_1$  et  $h_2$  sont admissibles ? Justifier.
2. Est-ce que  $h_1$  domine  $h_2$  ou bien  $h_2$  domine  $h_1$  ? Justifier.
3. Est-ce que  $h_3 = \max(h_1, h_2)$  est admissible ?
4. Appliquer la recherche gloutonne en utilisant  $h_2$ . Donner la suite des nœuds développés.
5. Appliquer la recherche A\* en utilisant  $h_1$ . Donner la suite des nœuds développés.
6. Appliquer la recherche A\* en utilisant  $h_2$ . Donner la suite des nœuds développés.
7. Appliquer la recherche A\* en utilisant  $h_3$ . Donner la suite des nœuds développés.
8. Montrer que pour deux heuristiques admissibles  $h_1$  et  $h_2$ ,  $h_3$  est admissible ?

9. Si vous avez le choix entre trois heuristiques admissibles  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3 = \max(h_1, h_2)$  laquelle choisissez vous ?

**Exercice 3 (4.5 points)**

Soit la base de connaissances suivante

1.  $\forall x P(x) \Rightarrow \exists y Q(y, x)$
2.  $\exists y P(y) \wedge \forall x \forall z (\neg R(x) \Rightarrow \neg Q(z, x))$
3.  $\forall x \forall y \forall z P(x) \Rightarrow M(x, y, z)$
4.  $\exists y \forall x \exists z \neg S(y) \Rightarrow \neg T(x, y, z)$
5.  $\forall x \forall y \forall z R(x) \wedge M(x, y, z) \Rightarrow T(x, y, z)$

Prouvez par résolution que  $\forall x S(x)$

**Exercice 4 (4 points)**

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

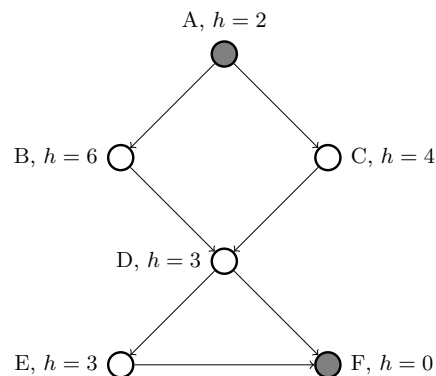
1. Tout le monde a exactement un meilleur ami
2. Il existe une personne qui a emprunté toutes les compagnies aériennes du monde
3. Aucun étudiant qui travaille ne rate ses examens
4. A chaque fois qu'elle passe devant la machine, elle achète un café
5. Tout ce que Pierre a acheté à Paul, Pierre l'a donné à quelqu'un
6. Si j'ai un examen aujourd'hui, alors nous sommes mercredi
7. Un seul étudiant a assisté à tous les cours
8. La meilleure note obtenue en Economie est toujours meilleure que la meilleure note obtenue en Programmation

**Intelligence artificielle**  
17 mai 2011  
1h30 - Aucun document autorisé  
Le barème est donné à titre indicatif

---

**Exercice 1 (6 points)**

Considérez l'espace de recherche suivant. Le but est de trouver le chemin le plus court de A vers F.



La valeur de l'heuristique  $h$  est indiquée pour chaque nœud. On souhaite récupérer le coût de tous les arcs entre deux nœuds. Pour cela, nous disposons d'une trace de l'algorithme  $A^*$ .

Pour chaque pas de l'algorithme est indiquée la liste des nœuds encore à traiter avec la valeur  $f = g + h$ . Si un nœud peut apparaître deux fois avec deux valeurs de  $f$  différentes, on conserve seulement celui avec la meilleure (c'est à dire la plus petite) valeur de  $f$ .

```
[(A, f=2)]  
[(C, f=9), (B, f=10)]  
[(B, f=10), (D, f=12)]  
[(D, f=12)]  
[(E, f=14), (F, f=17)]  
[(F, f=16)]
```

1. En utilisant ces valeurs et votre connaissance du fonctionnement de l'algorithme  $A^*$ , calculez les coûts de tous les arcs
2. L'heuristique  $h$  est-elle admissible? Justifiez.
3. Appliquez la recherche gloutonne en utilisant  $h$ . Donnez la suite des nœuds développés.

**Exercice 2 (6 points)**

Supposons qu'un individu pieds nus doivent se retrouver dans l'état dans lequel il porte sa chaussure droite, sa chaussure gauche, sa chaussette droite et sa chaussette gauche.

1. Définissez en STRIPS les actions nécessaires
2. Donnez en STRIPS l'état initial et l'état final de ce problème
3. Trouvez un plan partiellement ordonné permettant de résoudre ce problème

**Exercice 3 (5 points)**

Soit la base de connaissances suivante

1.  $\forall x \exists y (P(x) \wedge \neg Q(x) \Rightarrow R(x, y)) \wedge (P(x) \wedge \neg Q(x) \Rightarrow S(y))$
2.  $\exists x T(x) \wedge P(x) \wedge (\forall y R(x, y) \Rightarrow T(y))$
3.  $\forall x T(x) \Rightarrow \neg Q(x)$

Prouvez par résolution que  $\forall x T(x) \wedge S(x)$

**Exercice 4 (3 points)**

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

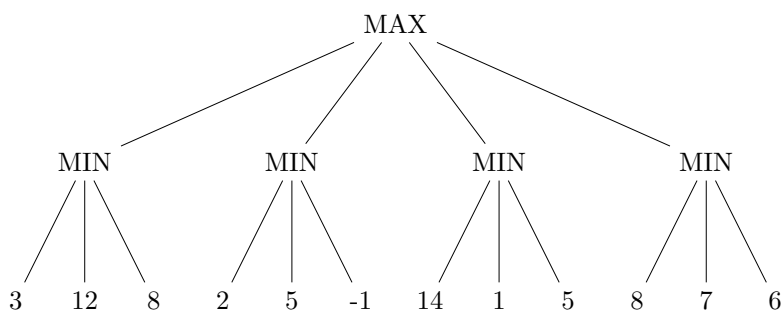
1. Certains politiciens sont honnêtes
2. Il n'est pas vrai que tous les politiciens sont honnêtes
3. Aucun politicien n'est pas ambitieux
4. Tout le monde a un père et une mère
5. Il existe un étudiant qui a réussi tous ses examens
6. Tous les étudiants n'ont pas réussi tous leurs examens

**Intelligence artificielle**  
21 juin 2011  
1h30 - Aucun document autorisé  
Le barème est donné à titre indicatif et peut être modifié

---

**Exercice 1 (5 points)**

Considérez l'arbre de jeu suivant. La racine est un nœud MAX, et les valeurs aux feuilles correspondent à l'utilité obtenue par le joueur MAX. Si MAX gagne la valeur  $x$ , le joueur MIN gagnera la valeur  $-x$ .



1. Appliquez l'algorithme  $\alpha$ - $\beta$  sur cet arbre de jeu. Quelles branches seront coupées?
2. Quelle est l'utilité obtenue par le joueur MAX?

**Exercice 2 (5 points)**

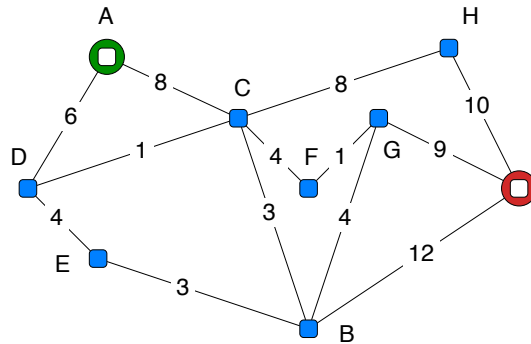
Soit la base de connaissances suivante

1.  $\forall x P(x) \Rightarrow \exists y Q(y, x)$
2.  $\exists y P(y) \wedge \forall x \forall z (\neg R(x) \Rightarrow \neg Q(z, x))$
3.  $\forall x \forall y \forall z P(x) \Rightarrow M(x, y, z)$
4.  $\exists y \forall x \exists z \neg S(y) \Rightarrow \neg T(x, y, z)$
5.  $\forall x \forall y \forall z R(x) \wedge M(x, y, z) \Rightarrow T(x, y, z)$

Prouvez par résolution que  $\forall x S(x)$

### Exercice 3 (7 points)

Considérez la carte suivante. Le but est de trouver le chemin le plus court de A vers I.



Le coût de chaque connexion est indiqué. Deux heuristiques  $h_1$  et  $h_2$  sont données comme suit:

Nœud	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$h_1$	19	10	13	13	14	8	6	8	0
$h_2$	21	11	12	13	13	6	7	5	0

1. Est-ce que  $h_1$  et  $h_2$  sont admissibles ? Justifier.
2. Est-ce que  $h_1$  domine  $h_2$  ou bien  $h_2$  domine  $h_1$  ? Justifier.
3. Appliquer la recherche gloutonne en utilisant  $h_2$ . Donner la suite des nœuds développés.
4. Appliquer la recherche A\* en utilisant  $h_1$ . Donner la suite des nœuds développés.
5. Appliquer la recherche A\* en utilisant  $h_2$ . Donner la suite des nœuds développés.
6. Montrer que pour deux heuristiques admissibles  $h_1$  et  $h_2$ ,  $h_3 = \max(h_1, h_2)$  est admissible.
7. Si vous avez le choix entre trois heuristiques admissibles  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3 = \max(h_1, h_2)$  laquelle choisissez vous ? Justifier.

### Exercice 4 (3 points)

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

1. Certains étudiants sont sérieux
2. Tous les étudiants ne sont pas sérieux
3. Aucun étudiant n'est stupide
4. Personne n'achète de fleurs à un banquier
5. Toutes les personnes qui ont acheté des fleurs sont ravies
6. Il existe un fleuriste qui vend des fleurs à tous les banquiers

---

## Intelligence artificielle

29 mai 2012

1h30 - Aucun document autorisé

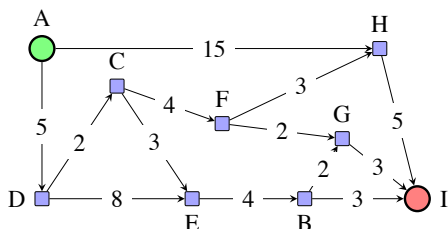
Aucun matériel électronique n'est autorisé - Les téléphones sont formellement interdits

Le barème est donné à titre indicatif et peut être modifié

---

### Exercice 1 (6 points)

Considérez la carte suivante. Le but est de trouver un chemin de A vers I. Le coût de chaque connexion est indiqué. Deux heuristiques  $h_1$  et  $h_2$  sont données.



Nœud	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$h_1$	11	3	7	10	5	5	3	5	0
$h_2$	11	3	3	2	5	5	2	4	0

1. Appliquez la recherche en largeur d'abord. Vous utiliserez l'ordre alphabétique pour classer les nœuds dans votre arbre si nécessaire. Donner la suite des nœuds développés.
2. Appliquez la recherche en profondeur d'abord. Vous utiliserez l'ordre alphabétique pour classer les nœuds dans votre arbre si nécessaire. Donner la suite des nœuds développés.
3. Est-ce que  $h_1$  et  $h_2$  sont admissibles ? Justifier.
4. Est-ce que  $h_1$  domine  $h_2$  ou bien  $h_2$  domine  $h_1$  ? Justifier.
5. Appliquez la recherche A\* en utilisant l'une des deux heuristiques,  $h_1$  ou  $h_2$ . Justifiez votre choix. Donner la suite des nœuds développés.
6. Appliquez la recherche gloutonne en utilisant  $h_2$ . Donner la suite des nœuds développés.

### Exercice 2 (4 points)

Soit la carte, composée de 9 pays, suivante :

A		
B	C	D
E	F	G
H		I

On considère le *problème de coloriage* consistant à associer une couleur à chaque pays de façon à ce que deux régions adjacentes soient de couleurs différentes. Trois couleurs sont disponibles : **Rouge**, **Jaune** et **Vert**.

1. Dessinez le graphe de contraintes correspondant ce problème
2. Expliquez ce que sont l'heuristique du degré et l'heuristique MRV
3. Trouvez un coloriage à 3 couleurs de ce graphe en utilisant l'heuristique MRV et l'heuristique du degré. Si plusieurs choix s'offrent à vous, vous appliquerez les couleurs en respectant l'ordre  $\{R, J, V\}$ , et vous choisirez les pays par ordre alphabétique.

### Exercice 3 (5 points)

Soit la base de connaissances suivante. Prouvez par résolution que  $S(\text{arthur})$  est vrai.

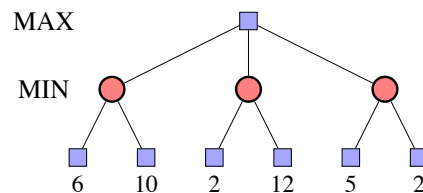
- |                                                                       |                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. $\exists x \forall y \exists z P(\text{arthur}) \wedge Q(x, y, z)$ | 4. $\forall x \forall y (D(x) \wedge E(x, y)) \Rightarrow W(y)$ |
| 2. $\forall x (P(x) \wedge W(x)) \rightarrow S(x)$                    | 5. $\forall x \forall y R(f(x), f(y)) \Rightarrow E(x, y)$      |
| 3. $\forall x D(x) \rightarrow (W(x) \wedge \neg P(x))$               | 6. $\exists x D(x) \wedge R(f(x), f(\text{arthur}))$            |

### Exercice 4 (2 points)

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

1. Il n'est pas vrai que tous les étudiants sont sérieux
2. Certains étudiants révisent tous leurs examens
3. Pour tous les examens, il y a au moins un étudiant qui n'a pas révisé
4. Tous les étudiants en informatique savent programmer en C et en JAVA

**Exercice 5 (3 points)** Considérez l'arbre de jeux suivant.



1. Appliquez l'algorithme MINIMAX sur cet arbre
2. Appliquez l'algorithme  $\alpha$ - $\beta$  sur cet arbre



---

## Intelligence artificielle

20 juin 2012

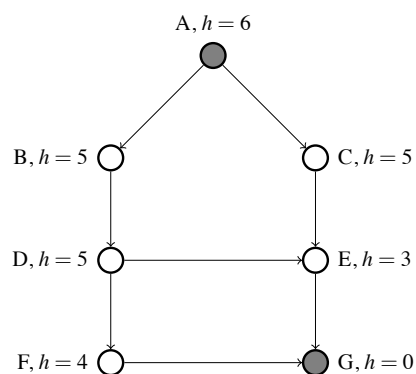
1h30 - Aucun document autorisé

Aucun matériel électronique n'est autorisé - Les téléphones sont formellement interdits

Le barème est donné à titre indicatif et peut être modifié

---

**Exercice 1 (6 points)** Considérez l'espace de recherche **orienté** suivant. Le but est de trouver le chemin le plus court de A vers F.



La valeur de l'heuristique  $h$  est indiquée pour chaque nœud. On souhaite récupérer le coût de tous les arcs entre deux nœuds. Pour cela, nous disposons d'une trace de l'algorithme  $A^*$ .

Pour chaque pas de l'algorithme est indiquée la liste des nœuds encore à traiter avec la valeur  $f = g + h$ .

```
[ (A, f=6) ]  
[ (B, f=7), (C, f=10) ]  
[ (D, f=8), (C, f=10) ]  
[ (C, f=10), (F, f=12), (E, f=14) ]  
[ (E, f=11), (F, f=12), (E, f=14) ]  
[ (F, f=12), (E, f=14), (G, f=15) ]  
[ (G, f=13) ]
```

1. En utilisant ces valeurs et votre connaissance du fonctionnement de l'algorithme  $A^*$ , calculez les coûts de tous les arcs
2. L'heuristique  $h$  est-elle admissible? Justifiez.
3. Appliquez la recherche gloutonne en utilisant  $h$ . Vous utiliserez l'ordre alphabétique pour classer les nœuds dans votre arbre si nécessaire. Donnez l'arbre de recherche et la suite des nœuds développés.

**Exercice 2 (6 points)** Un laboratoire est composé de 2 pièces, la pièce A et la pièce B. Un robot, muni d'une pince, se situe dans la pièce A, tandis qu'un plateau composé de tasses de café, de gateaux et de morceaux de sucre est dans la pièce B. Le robot peut attraper une tasse de café ou un gateau (mais un seul à la fois), sucrer une tasse de café (si celle ci est sur le plateau et que sa pince est libre), se déplacer d'une pièce à l'autre et déposer ce qu'il a dans sa pince dans une des deux pièces.

Dans l'état initial, le robot est dans la pièce A, qui ne contient ni café, ni gateau. Dans l'état final, on veut qu'un café sucré et un morceau de gateau soient dans la pièce A.

- Décrivez en STRIPS les actions Attraper, SeDéplacer, Sucrer et Déposer
- Donnez en STRIPS l'état initial et l'état final de ce problème
- Donnez un plan partiellement ordonné permettant de résoudre ce problème

**Exercice 3 (5 points)**

Soit la base de connaissances suivante. Prouvez par résolution que  $S(\text{arthur})$  est vrai.

- |                                                                       |                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. $\exists x \forall y \exists z P(\text{arthur}) \wedge Q(x, y, z)$ | 4. $\forall x \forall y (D(x) \wedge E(x, y)) \Rightarrow W(y)$ |
| 2. $\forall x (P(x) \wedge W(x)) \rightarrow S(x)$                    | 5. $\forall x \forall y R(f(x), f(y)) \Rightarrow E(x, y)$      |
| 3. $\forall x D(x) \rightarrow (W(x) \wedge \neg P(x))$               | 6. $\exists x D(x) \wedge R(f(x), f(\text{arthur}))$            |

**Exercice 4 (3 points)**

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

1. Un citoyen français inscrit sur une liste électorale est un électeur
2. Tous les électeurs n'ont pas voté pour le premier tour des élections législatives
3. Certains électeurs qui ont voté pour le premier tour des élections législatives n'ont pas voté pas au second tour des législatives
4. L'Irlande n'a gagné aucun match au cours de l'Euro 2012
5. Au moins deux buts ont été marqués au cours du match Espagne-Irlande de l'Euro 2012
6. La Suède a marqué exactement deux buts contre la France dans l'Euro 2012

---

## Intelligence Artificielle

3 mai 2013

1h30 - Aucun document autorisé

Aucun matériel électronique n'est autorisé - Les téléphones sont formellement interdits

Le barème est donné à titre indicatif et peut être modifié

---

### Exercice 1 (4 points) – Questions de cours

1. Définir ce qu'est une **stratégie de recherche** dans un algorithme de recherche dans un espace d'états. Quand dit-on qu'une telle stratégie est **complète**? **optimale**?
2. Définir ce qu'est une **procédure d'inférence** en logique propositionnelle. Quand dit-on qu'une telle procédure est **complète**? **valide**?
3. Expliquez ce qu'est un environnement **épisodique**, puis ce qu'est un environnement **séquentiel**

### Exercice 2 (4 points) – Planification

Soient les actions STRIPS suivantes :

Action(Lever  
PRECOND : AuLit  
EFFET : Debout  $\wedge$  Nu  $\wedge$  Faim  $\wedge$   $\neg$ AuLit )

Action(Doucher  
PRECOND : Debout  $\wedge$  Nu  
EFFET : Propre)

Action(Habiller  
PRECOND : Debout  $\wedge$  Nu  
EFFET : Habillé  $\wedge$   $\neg$ Nu)

Action(Déjeuner  
PRECOND : Debout  $\wedge$  Faim  
EFFET : Rassasié  $\wedge$   $\neg$ Faim)

Etat initial : Je suis au lit

Etat final : Je veux être prêt à sortir (propre, habillé et rassasié).

1. Donnez en STRIPS l'état initial et l'état final de ce problème
2. Trouvez un plan partiellement ordonné permettant de résoudre ce problème
3. Donnez 2 plans d'actions totalement ordonnés à partir de ce plan partiellement ordonné

---

### Exercice 3 (4 points) – Logique du premier ordre

Soit la base de connaissances suivante. Prouvez par résolution que si Sophie est sérieuse, elle va réussir son module d'IA.

**Vocabulaire** :  $\text{etudiant}(x)$  :  $x$  est étudiant,  $\text{matiere}(x)$  :  $x$  est une matière (appelé aussi module),  $\text{travaille}(x, m)$  :  $x$  travaille la matière  $m$ ,  $\text{sérieux}(x)$  :  $x$  est sérieux,  $\text{reussi}(x, m)$  :  $x$  a réussi le module  $m$

1.  $\text{etudiant}(\text{Sophie})$
2.  $\text{matiere}(\text{IA})$
3.  $\forall x \text{ etudiant}(x) \Rightarrow (\exists m \text{ matiere}(m) \wedge \text{travaille}(x, m))$
4.  $\exists x \text{ etudiant}(x) \wedge (\forall m \text{ matiere}(m) \Rightarrow \text{travaille}(x, m))$
5.  $\forall x \text{ etudiant}(x) \wedge \text{sérieux}(x) \Rightarrow \text{travaille}(x, \text{IA})$
6.  $\forall x \forall m \text{ etudiant}(x) \wedge \text{matiere}(m) \wedge \text{travaille}(x, m) \Rightarrow \text{reussi}(x, m)$

**Exercice 4 (3 points) – Logique du premier ordre**

Traduire en logique des prédicats les phrases suivantes. N'oubliez pas de préciser le vocabulaire utilisé.

1. Tous les acteurs admirent au moins un acteur
2. Un acteur est admiré par tous les acteurs
3. Sophie admire un et un seul acteur
4. Au moins deux acteurs admirent tous les acteurs

**Exercice 5 (5 points) – Apprentissage automatique**

Soit  $f$  la fonction définie de la manière suivante:

$$f(x) = \begin{cases} -x \log(x) - (1-x) \log(1-x) & \text{si } x \in ]0, 1[ \\ 0 & \text{si } x = 0 \text{ ou } x = 1 \end{cases}$$

Soient  $Set(1-5)$  et  $Set(6-10)$  les deux ensembles d'exemples de la table 1.

$Set(1-5)$							$Set(6-10)$						
	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	classe		$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	classe
1	0	1	0	1	1	+	6	1	0	1	1	1	+
2	1	1	0	0	1	-	7	0	1	1	0	1	-
3	0	0	0	1	1	+	8	0	0	1	0	0	+
4	1	1	1	1	1	-	9	0	1	0	1	0	-
5	1	0	0	1	0	+	10	1	0	1	0	1	+

Table 1: Les ensembles  $Set(1-5)$  et  $Set(6-10)$

1. a. Dessiner la courbe définie par la fonction  $f$ .
1. b. Calculer  $E$  l'entropie de  $Set(1-5)$ .

Pour faciliter les calculs éventuels, on pourra utiliser  $\log(2) = 0.7$ ,  $\log(3) = 1.1$ ,  $\log(5) = 1.6$ .

Sur  $Set(1-5)$ , on va construire  $Tree(1-5)$  avec le principe de minimisation de l'entropie.

2. a. Calculer  $E(a)$  et  $E(b)$ , les entropies à priori des attributs  $a$  et  $b$ .
2. b. Calculer  $E(c)$  et  $E(d)$ .
2. c. Calculer  $E(e)$  et en déduire l'attribut minimisant l'entropie.
3. Terminer la construction de  $Tree(1-5)$ .
4. Tester  $Tree(1-5)$  sur l'ensemble  $Set(6-10)$ .
5. Sans utiliser  $a$  et  $b$ , construire un arbre de décision  $Decide(1-5)$  sur  $Set(1-5)$ .
6. Tester  $Decide(1-5)$  sur  $Set(6-10)$ .
7. Conclure.