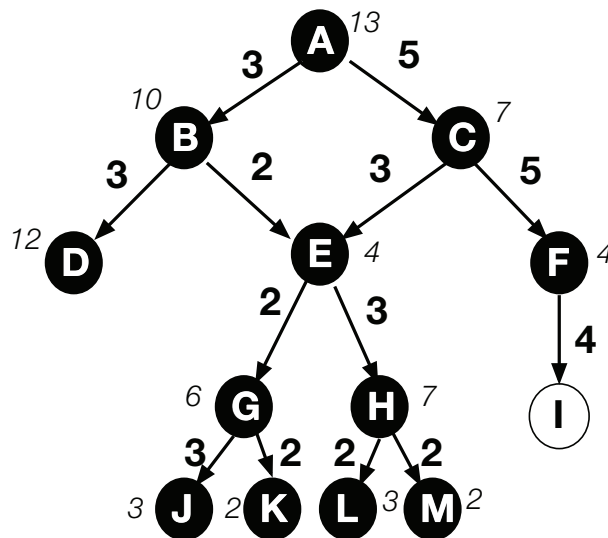


**Intelligence Artificielle**  
**2014**  
**Examen Final**  
**26 Mai 2014**

1. Écrivez votre nom sur chaque feuille.
2. Placez votre carte de légitimation devant vous sur la table.
3. Documents admis: une feuille recto-verso écrite à la main, ou une page A4 (recto seulement) dactylographiée.
4. Utilisez les espaces prévus sur les feuilles de réponse si possible. Si vous utilisez des feuilles supplémentaires, répondez à chaque question sur une feuille séparée.
5. Les points qui correspondent à chaque question et sous-question sont indiqués. L'examen en tout fait 100 points et compte pour 50% de la note finale.
6. Bonne chance!

# 1 Algorithmes de recherche (40 points)

Considérez l'arbre de recherche suivant:



Les arcs indiquent la génération des noeuds par la fonction de successeur. On suppose que les successeurs sont générés dans un ordre de gauche à droite. Les chiffres à côté des arcs donnent les coûts et ceux à côté des noeuds les valeurs d'une fonction heuristique. Le noeud initial est le noeud A. Il y a un seul noeud but, I.

Pour les questions suivantes, nous considérons comme exploration le moment de l'expansion d'un noeud, pas de sa génération.

## Question 1.1 [8 pt(s)]

Indiquez l'ordre d'exploration de noeuds dans une recherche en **profondeur d'abord**.

Réponse:

A,B,D,E,G,J,K,H,L,M,C,E,G,J,K,H,L,M,F,I

## Question 1.2 [8 pt(s)]

Indiquez l'ordre d'exploration de noeuds dans une recherche en **largeur d'abord**.

Réponse:

A,B,C,D,E,E,F,G,H,G,H,I

**Question 1.3** [10 pt(s)]

Indiquez l'ordre d'exploration de noeuds dans une recherche en **approfondissement itératif** avec limite de profondeur = 1,2,3.

**Réponse:**

A,B,C,A,B,D,E,C,E,F,A,B,D,E,G,H,C,E,G,H,F,I

**Question 1.4** [4 pt(s)]

Expliquez comment on peut éviter la génération multiple des noeuds E, G, H...

**Réponse:**

Par une détection de cycles.

**Question 1.5** [10 pt(s)]

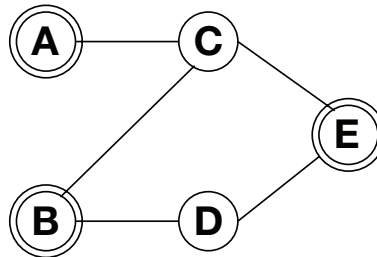
Indiquez l'ordre d'exploration de noeuds dans une recherche utilisant **l'algorithme A\***.

**Réponse:**

A,C,E,B,E,G,K,J,F,I

## 2 Diagnostic (35 points)

Considérez le réseau de communication suivant:



Vous souhaitez construire un système de diagnostic qui permet de détecter des pannes de composants de ce réseau sur la base d'observations de transmissions entre noeuds. Seuls les noeuds terminaux (A, B et E) sont accessibles. On suppose que les seules pannes possibles sont des pannes des noeuds (p. ex. C, D) ou des liens (p. ex. A-C, B-D), et que ces éléments tombent en panne indépendamment. Une panne se manifeste par le fait que les communications par un certain chemin ne passent pas.

Supposons qu'on obtient au départ les observations suivantes:

- la communication  $A \rightarrow C \rightarrow E$  est coupée.
- la communication  $B \rightarrow C \rightarrow E$  passe bien.

### Question 2.1 [4 pt(s)]

- Expliquez les deux principaux types de diagnostic: **abduction** et **consistance**. [2pts]
- Expliquez quels sont les avantages et désavantages de chaque méthode. [2pts]

### Réponse:

Dans le diagnostic par abduction, le candidat doit expliquer les observations [1pt]. Dans le diagnostic par consistance, le candidat rend les observations consistantes [1pt]. L'avantage du diagnostic par consistance est qu'on n'a pas besoin d'un modèle du comportement d'une composante défectueuse [1pt], mais le diagnostic est moins précis [1pt].

Pour les questions 2.2 et 2.3, considérons l'abduction par raisonnement incertain utilisant des facteurs de certitude.

**Question 2.2** [8 pt(s)]

- *Donnez des règles qui permettent de traduire une observation qui implique le fonctionnement (correct ou défectueux) d'un chemin avec plusieurs composantes (noeuds et liens) en incertitude sur le comportement défectueux des composantes. Supposez que chaque composante est mise en cause avec une certitude égale. [4pts]*
- *Les observations a) et b) arrivent en séquence. Calculez les facteurs de certitude pour toutes les composantes (sauf si elle est 0) après chaque observation. Si nécessaire, appliquez les règles de combinaison des facteurs de certitude. [4pts]*

**Réponse:**

*Les règles:*

- $\forall e \in E(\text{path}) \text{cut}(\text{path}) \Rightarrow \text{faulty}(e), CF = 1/|E|$  [2pts]
- $\forall e \in E(\text{path}) \text{good}(\text{path}) \Rightarrow \text{faulty}(e), CF = -1.0$  [2pts]

*Les facteurs de certitude:*

- *Après l'observation a):  $\text{faulty}(A), \text{faulty}(A-C), \text{faulty}(C), \text{faulty}(C-E), \text{faulty}(E), CF = 1/5$  [1pt]*
- *Après l'observation b):  $\text{faulty}(B), \text{faulty}(B-C), \text{faulty}(C), \text{faulty}(C-E), \text{faulty}(E), CF = -1.0$  [1pt]*

*Combinaison des facteurs de certitude:  $\text{faulty}(C), \text{faulty}(C-E), \text{faulty}(E), CF = \frac{0.2-1.0}{1-0.2} = -1.0$  [2pts]*

**Question 2.3** [4 pt(s)]

Supposons qu'on rajoute l'observation que la communication  $A \rightarrow C \rightarrow B$  est également coupée.

- Calculez les nouveaux facteurs de certitude pour toutes les composantes. [3pts]
- Utilisez les facteurs de certitude finaux pour localiser les composantes qui peuvent être défectueuses. [1pt]

**Réponse:**

Après l'observation c):  $\text{faulty}(A)$ ,  $\text{faulty}(A-C)$ ,  $\text{faulty}(C)$ ,  $\text{faulty}(C-B)$ ,  $\text{faulty}(B)$ ,  $CF = 1/5$  [1pt]

Combinaison des facteurs de certitude:  $\text{faulty}(A)$ ,  $\text{faulty}(A-C)$ ,  $CF = 0.4 - 0.04 = 0.36$  [1pt],  
 $\text{faulty}(C)$ ,  $\text{faulty}(C-B)$ ,  $\text{faulty}(B) = \frac{0.2 - 1.0}{1 - 0.2} = -1.0$  [2pt].

On a donc déjà bien localisée la faute entre  $A$  et le lien  $A-C$ . [1pt]

Pour les questions suivantes, considérons le diagnostic basé sur la consistance.

**Question 2.4** [4 pt(s)]

Pour les observations a) et b) ci-dessus:

- Identifiez les observations qui donnent des conflits et précisez quels sont ces conflits. [2pts]
- Expliquez comment on obtient les candidats minimaux de diagnostic à partir de ces conflits et énumérez-les. [2pts]

**Réponse:**

Seul l'observation a) donne le conflit:  $\{A, A - C, C, C - E, E\}$  [2pts]. Les candidats minimaux sont les éléments du conflit [1pt]:  $\{\{A\}, \{A - C\}, \{C\}, \{C - E\}, \{E\}\}$  [1pts].

**Question 2.5** [7 pt(s)]

Etant données les observations a) et b) ci-dessus:

- Précisez quelles sont les deux prochaines mesures possibles à prendre. [2pts]
- Supposons que toutes les composantes tombent en panne avec la même probabilité 0.1. Calculez la probabilité d'observer que la communication est coupée pour chacune de ces mesures. [3pts]
- Expliquez quel est le critère pour déterminer la mesure optimale à prendre pour faire avancer le diagnostic le plus rapidement possible. Identifiez quelle est cette mesure. [2pts]

Notez que pour une variable aléatoire qui prend deux valeurs avec probabilité  $p$  et  $(1-p)$ , l'entropie est en croissance monotone tant que  $p$  s'approche de  $1/2$ . Vous pouvez utiliser ce fait pour comparer les entropies de deux variables aléatoires sans les calculer explicitement.

**Réponse:**

On a le choix entre les mesures suivantes:

1.  $A \rightarrow C \rightarrow B$  [1pt]
2.  $B \rightarrow D \rightarrow E$  [1pt]

On obtient les probabilités suivantes:

candidat	probabilité	$A \rightarrow C \rightarrow B$	$B \rightarrow D \rightarrow E$	[3pts]
$\{A\}$	0.1	coupé	passe	
$\{A - C\}$	0.1	coupé	passe	
$\{C\}$	0.1	coupé	passe	
$\{C - E\}$	0.1	passe	passe	
$\{E\}$	0.1	passe	coupé	
	$Pr(\text{coupé})$	$0.3/0.5$	$0.1/0.5$	
		$= 0.6$	$= 0.2$	
	Entropie:	0.97	0.72	

Alors on choisit de mesurer  $A \rightarrow C \rightarrow B$ . [2pt]

**Question 2.6** [4 pt(s)]

*Supposons que la mesure optimale indique que la communication ne passe pas. Indiquez les candidats minimaux de diagnostic.*

**Réponse:**

*Pour  $A \rightarrow C \rightarrow B$ :  $\{\{A\}, \{A - C\}, \{C\}, \{C - B, C - E\}, \{C - B, E\}, \{B, C - E\}, \{B, E\}\}$*

*Pour  $B \rightarrow D \rightarrow E$  (réponse fausse): toutes les combinaisons d'un de:*

$$\{\{A\}, \{A - C\}, \{C\}, \{C - E\}\}$$

*avec un de*

$$\{\{B\}, \{B - D\}, \{D\}, \{D - E\}\}$$

*plus  $\{E\}$*

**Question 2.7** [4 pt(s)]

*Est-ce qu'un diagnostic basé sur la consistance pourrait montrer qu'une composante n'a pas de défaut? Expliquez pourquoi.*

**Réponse:**

*Non, car ce type de diagnostic ne prend pas en compte les observations de comportement correct qui permettraient une telle démonstration.*



### 3 Questions Diverses (5 x 5 = 25 points)

#### Question 3.1 [5 pt(s)]

- Expliquez qu'est-ce que l'unification. [3pts]
- Montrez l'unificateur des expressions  $(\text{connait}(\text{frère}(\text{Jacques})) \text{ ?x})$  et  $(\text{connait} \text{ ?y Charles})$ . [2pts]

#### Réponse:

L'unification  $\text{UNIFY}(A, B)$  trouve l'ensemble de substitutions de variables nécessaires pour rendre deux expressions  $A$  et  $B$  égales, ou bien un echec si ce n'est pas possible.

L'unificateur demandé est:  $(\text{?x Charles}) (\text{?y frère}(\text{Jacques}))$  [2pts]

#### Question 3.2 [5 pt(s)]

- Expliquez la notion d'indépendance conditionnelle entre deux événements  $A$  et  $B$  étant donné un autre événement  $C$ . [3pts]
- Considérons qu'un événement  $C$  est la seule cause d'un événement  $D$ . Expliquez si cela implique des relations d'indépendance conditionnelle entre  $D$  et des autres événements étant donné  $C$ . [2pts]

#### Réponse:

Un événement  $A$  est conditionnellement indépendant d'un autre événement  $B$  étant donné  $C$  si  $P(A|B, C) = P(A|C)$  [3pts]. Si  $C$  est la seule cause de  $D$ , alors  $D$  est conditionnellement indépendant de tout autre événement  $A$  étant donné  $C$  [2pts].

#### Question 3.3 [5 pt(s)]

Les **support vector machines** (SVM) sont souvent utilisées pour apprendre des frontières de décision qui séparent deux classes.

- Expliquez selon quel principe cette frontière est choisie. [3pts]
- Expliquez qu'est-ce qu'une fonction de Kernel et comment elle intervient dans une SVM. [2pts]

#### Réponse:

La frontière est choisie de façon à maximiser la distance Euclidienne entre la frontière et les instances les plus proches (maximum margin) [3pts]. Les fonctions de Kernel transforment les coordonnées pour rendre une meilleure séparation [2pts].

#### Question 3.4 [5 pt(s)]

- Expliquez le clustering hiérarchique (agglomératif). [3pts]
- Expliquez quelles sont les deux principales mesures de distance utilisées dans le clustering hiérarchique. [2pts]

**Réponse:**

Le clustering hiérarchique construit une hiérarchie de clusters de façon à ce que les clusters soient regroupés en clusters de plus en plus grands [3pts]. Pour le clustering agglomératif, deux critères sont le **single-link** = distance entre les points les plus proches, et **complete-link** = distance entre les points les plus éloignés [2pts].

**Question 3.5** [5 pt(s)]

- Expliquez quelles sont les deux opérations élémentaires de l'algorithme de clustering k-means. [4pts]
- Expliquez quel est le critère d'arrêt. [1pts]

**Réponse:**

Le calcul des noyaux pour la répartition des exemples donnée, et le recalcul de la répartition pour les nouveaux noyaux [4pts]. Le calcul s'arrête dès qu'il n'y a plus de changement, ou qu'il y a un cycle [1pt].