

# « Intelligence Artificielle pour les jeux vidéos

Didier Puzenat

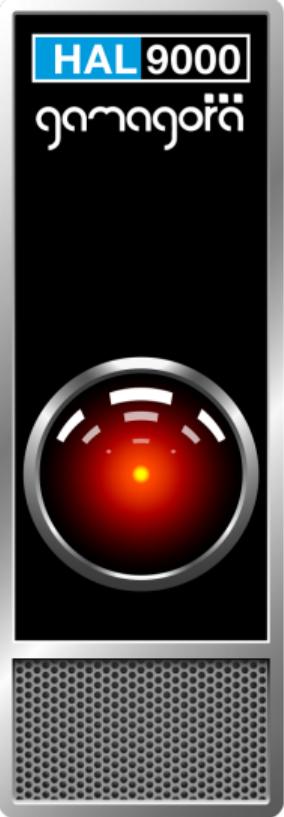
[didier.puzenat@univ-lyon2.fr](mailto:didier.puzenat@univ-lyon2.fr)

UE « systèmes complexes » du master 2 pro de Gamagora

UNIVERSITÉ  
**LUMIÈRE**  
**LYON 2**  
UNIVERSITÉ DE LYON



INSTITUT  
DE LA COMMUNICATION



# Création d'une liste de diffusion



Merci de me faire un mail pour la création d'une liste !

[didier.puzenat@univ-lyon2.fr](mailto:didier.puzenat@univ-lyon2.fr)

ou [didier.puzenat@gmail.com](mailto:didier.puzenat@gmail.com)

Pour recevoir :

- le support de cours,
- les fiches de TD-TP,
- des informations utiles, ...

Remarque : bien préciser vos **nom** et **prénom**

notamment si votre adresse mail est du genre [supergeek69@gmail.com](mailto:supergeek69@gmail.com) !

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

# Définition de l'intelligence selon Wikipédia

## Intelligence (« naturelle »)

L'intelligence est l'ensemble des facultés mentales permettant de comprendre les choses et les faits, de découvrir les relations entre elles et d'aboutir à la connaissance conceptuelle et rationnelle (par opposition à la sensation et à l'intuition). Elle permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles et peut en ce sens être également définie comme la faculté d'adaptation. L'intelligence peut être également perçue comme la capacité à traiter l'information pour atteindre ses objectifs.

# Définition de l'intelligence selon Wikipédia

## Intelligence (« naturelle »)

L'intelligence est l'ensemble des facultés mentales permettant de comprendre les choses et les faits, de découvrir les relations entre elles et d'aboutir à la connaissance conceptuelle et rationnelle (par opposition à la sensation et à l'intuition). Elle permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles et peut en ce sens être également définie comme la faculté d'adaptation. L'intelligence peut être également perçue comme la capacité à traiter l'information pour atteindre ses objectifs.

# Définition de l'intelligence selon Wikipédia

## Intelligence (« naturelle »)

L'intelligence est l'ensemble des facultés mentales permettant de comprendre les choses et les faits, de découvrir les relations entre elles et d'aboutir à la connaissance conceptuelle et rationnelle (par opposition à la sensation et à l'intuition). **Elle permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles et peut en ce sens être également définie comme la faculté d'adaptation.** L'intelligence peut être également perçue comme la capacité à traiter l'information pour atteindre ses objectifs.

# Définition de l'intelligence selon Wikipédia

## Intelligence (« naturelle »)

L'intelligence est l'ensemble des facultés mentales permettant de comprendre les choses et les faits, de découvrir les relations entre elles et d'aboutir à la connaissance conceptuelle et rationnelle (par opposition à la sensation et à l'intuition). Elle permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles et peut en ce sens être également définie comme la faculté d'adaptation. **L'intelligence peut être également perçue comme la capacité à traiter l'information pour atteindre ses objectifs.**

# Définition de l'intelligence selon Wikipédia

## Intelligence (« naturelle »)

L'intelligence est l'ensemble des facultés mentales permettant de comprendre les choses et les faits, de découvrir les relations entre elles et d'aboutir à la connaissance conceptuelle et rationnelle (par opposition à la sensation et à l'intuition). Elle permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles et peut en ce sens être également définie comme la faculté d'adaptation. L'intelligence peut être également perçue comme la capacité à traiter l'information pour atteindre ses objectifs.

## Intelligence artificielle

L'IA est l'intelligence des machines et des logiciels. Elle se veut discipline scientifique recherchant des méthodes de création ou de simulation de l'intelligence.

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- **L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche**
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Asimov** : cerveau positronique, les lois de la robotique (pour le meilleur et le pire), etc.

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Data** : encore du positronique, guidé par la recherche d'une humanité (par exemple via les émotions)...

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**L'agent Smith** : une IA purement logicielle, a priori sans émotion et avec un complexe de supériorité

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**TRON** le simple programme, **le MCP** un programme qui a très « mal tourné » et **Quorra** une « IA » non programmée qui émerge de la complexité de son environnement

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

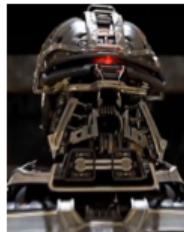
Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Jane** (l'IA amie de Ender) : émerge également de la complexité, reconnue par Ender comme étant une nouvelle forme de vie « consciente »

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

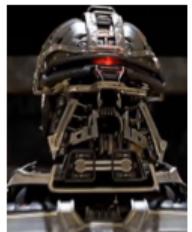
Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Caprica** (l'ado, pas celle avec la robe rouge;-) : les premiers pas du transhumanisme

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

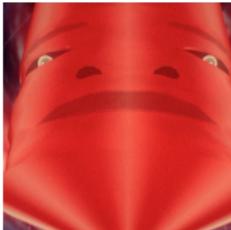
Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Terminator** : le fantasme de l'IA qui prend le pouvoir (skynet) avec une armée de robots plus ou moins évolués (dont un T2 doué d'une certaine capacité d'apprentissage)

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Z-6PO** (aka C-3PO) : ne comprend rien aux humains mais efficace dans son domaine d'expertise (traducteur)

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

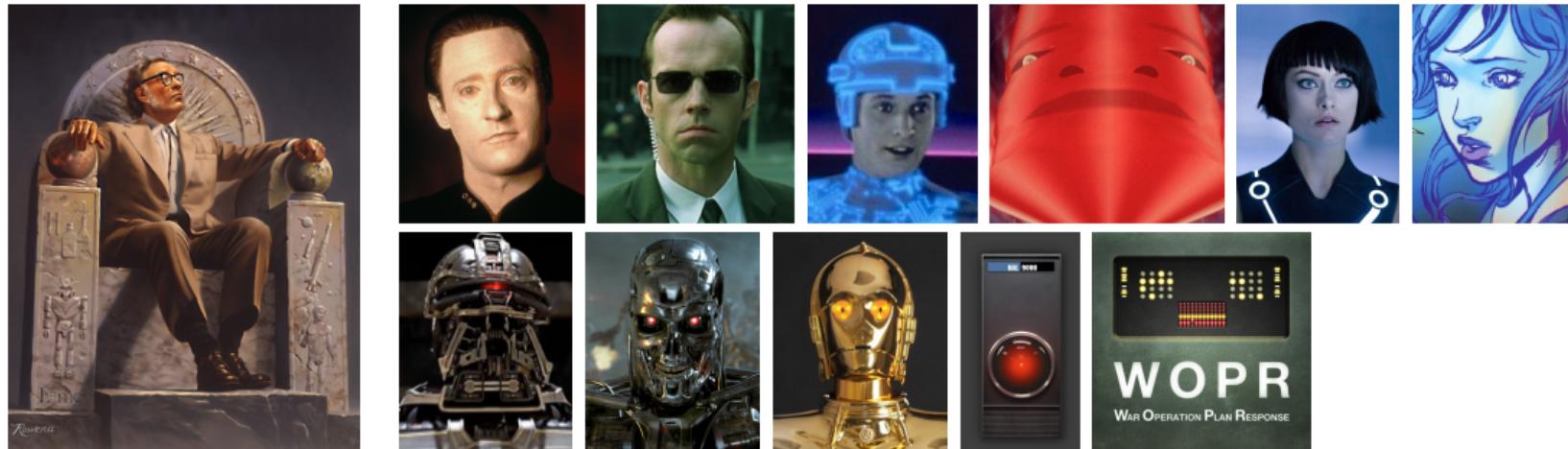
Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Hall 9000** : pour moi... le danger de l'anthropomorphisme (des humains) dans la relation IA-humain (et ça vaux pour 2016 !)

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

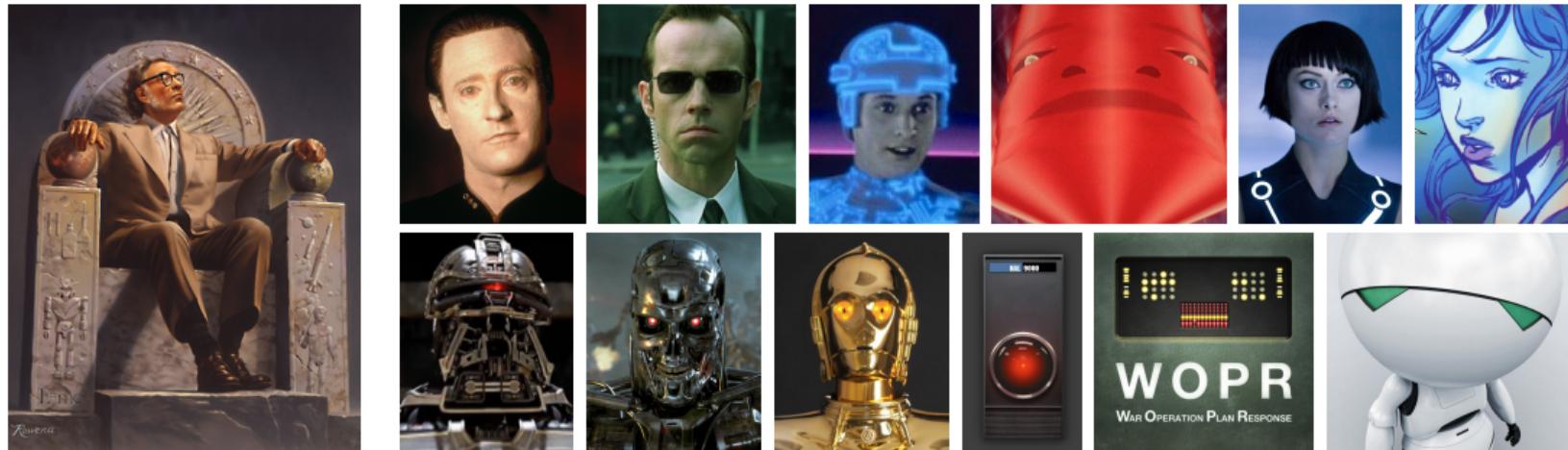
Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



Le **WOPR** : il apprend très bien, pour lui le nombre de morts n'est qu'une variable, mais heureusement il préfère les échecs à la guerre thermonucléaire globale

# L'IA dans la littérature et au cinéma (et dans les séries)

Quelques exemples d'IA dans la [littérature et du cinéma](#)



**Marvin** : l'IA fidèle mais dépressive car beaucoup trop intelligente pour être heureuse

# L'IA dans le monde de la recherche

L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Le cerveau humain : un moyen et un modèle !**

# L'IA dans le monde de la recherche

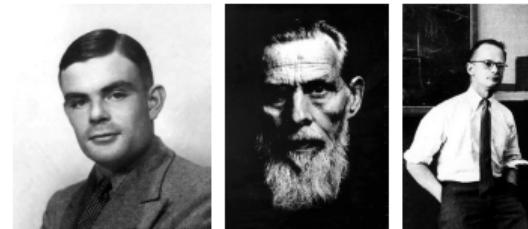
L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Alan Turing** : un des pères de l'informatique, a contribué à l'IA par son « test de Turing »

# L'IA dans le monde de la recherche

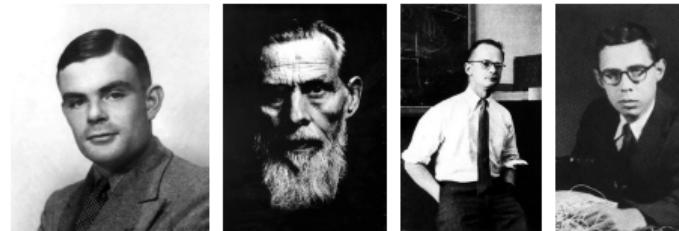
L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**McCulloch** et **Pitts** : premier modèle informatique du neurone biologique (années 40)

# L'IA dans le monde de la recherche

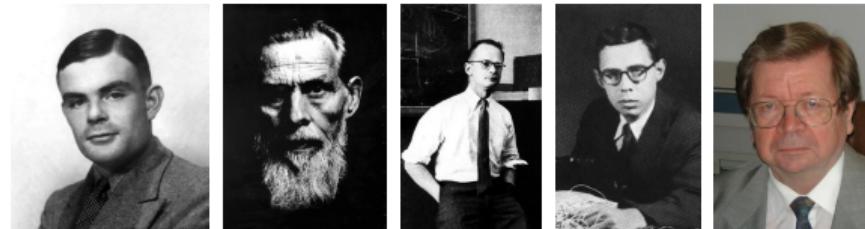
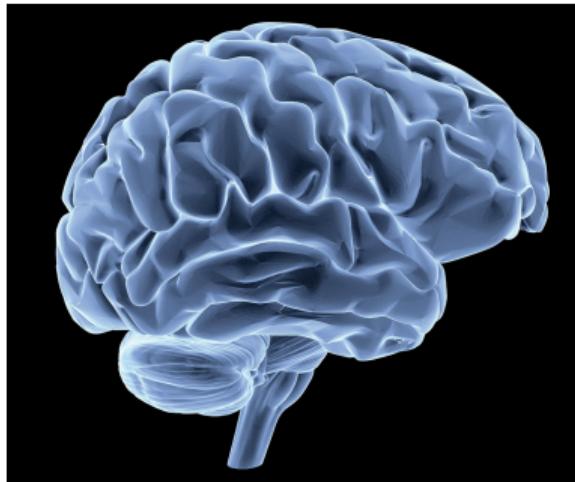
L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Frank Rosenblatt** : perceptron (1957), modèle inspiré des théories cognitives

# L'IA dans le monde de la recherche

L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Teuvo Kohonen** : carte auto-adaptatives dites « cartes de Kohonen »

# L'IA dans le monde de la recherche

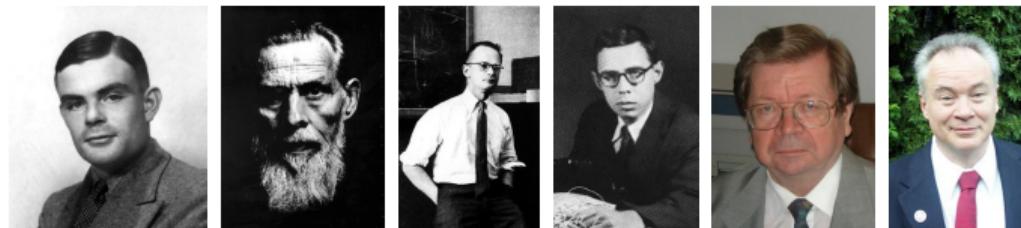
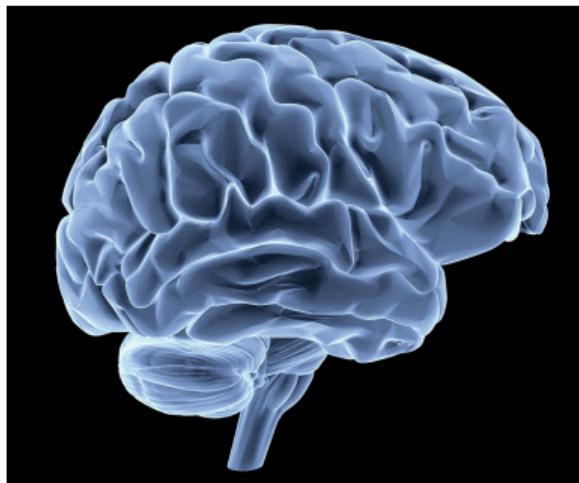
L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Paul John Werbos** : perceptron multi-couches et rétro-propagation du gradient

# L'IA dans le monde de la recherche

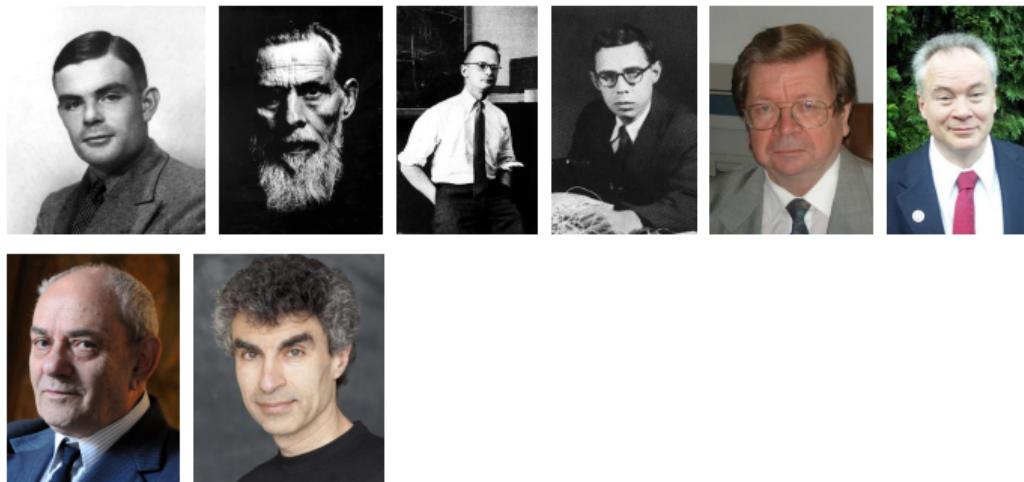
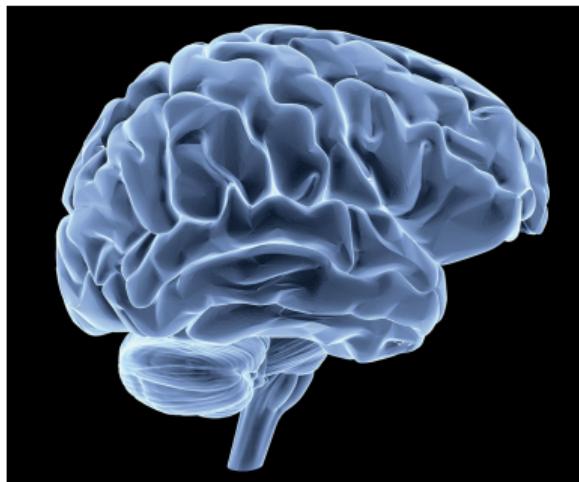
L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Vladimir Vapnik** : théorie de l'apprentissage statistique, machines à support vectoriel

# L'IA dans le monde de la recherche

L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



**Yoshua Bengio** : le deep-learning ou « apprentissage profond »

# L'IA dans le monde de la recherche

L'IA existe depuis les débuts de l'informatique, via la [cybernétique](#).



Investissements massifs des géants du Net : **Google, Apple, Facebook, Amazon**, etc.

# Les IA scientifiques et de la science fiction font peur

2014 : Stephen Hawking :

- « sous-estimer l'IA serait la plus grave erreur de notre histoire »
- « on peut imaginer que cette technologie déjoue les marchés financiers, dépasse les chercheurs humains, manipule les dirigeants humains et développe des armes qu'on ne peut pas même comprendre »
- « la meilleure ou la pire chose qui puisse arriver à l'humanité »

2016 : Pétition contre l'IA dans les armes signée par Stephen Hawking, Elon Musk (Tesla, Space X, etc.), Steve Wozniak (Apple), Noam Chomsky (linguiste), Demis Hassabis (fondateur de DeepMind), etc.

Mon avis : il faut relativiser, le Deep Learning ce n'est pas la révolution.

# Et les politiques ?

Vladimir Poutine :



« le pays qui deviendra leader de ce secteur sera celui qui dominera le monde »

# Et les politiques ?

Vladimir Poutine :



« le pays qui deviendra leader de ce secteur sera celui qui dominera le monde »



# Et les politiques ?

Barack Obama :



« Historiquement, nous avons absorbé les nouvelles technologies, de nouveaux emplois ont été créés et notre niveau de vie s'est généralement amélioré. L'intelligence artificielle promet de créer une économie plus productive et efficace. Si elle est bien exploitée, cela peut générer énormément de prospérité et d'opportunités. »

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

# Pourquoi ne pas utiliser l'état de l'art de l'IA dans les jeux vidéos ?



En 1996 Garry Kasparov perd une partie contre Deep-Blue (IBM), l'année suivante il perd un tournoi complet. Mais bon, les échecs seraient peut-être « trop facile » !

# L'IA des géants du Net (GAFA) pour les jeux vidéo ( ?)

Mars 2016 la société DeepMind de Google lance **AlphaGo** qui gagne 4 à 1 le meilleur joueur mondial de GO : Lee Sedol.

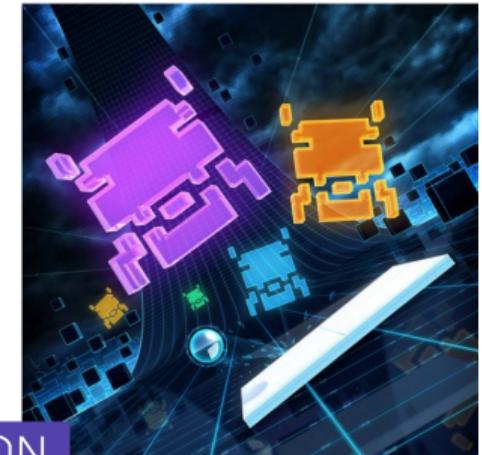


The first computer program to ever beat a professional player at the game of Go.

# L'IA des géants du Net (GAFA) pour les jeux vidéo ( ?)

Mars 2016 la société DeepMind de Google lance **AlphaGo** qui gagne 4 à 1 le meilleur joueur mondial de GO : Lee Sedol.

Projet actuel : l'algorithme « Deep Q-Network » aka **DQN**  
« human-level control through Deep Reinforcement Learning »  
→ jouer à la place du joueur à des jeux Atari 2600  
(et avoir de supers scores)



Better than human-level control of classic Atari games through Deep Reinforcement Learning.

# L'IA des géants du Net (GAFA) pour les jeux vidéo ( ?)

Mars 2016 la société DeepMind de Google lance **AlphaGo** qui gagne 4 à 1 le meilleur joueur mondial de GO : Lee Sedol.

Projet actuel : l'algorithme « Deep Q-Network » aka **DQN**  
« human-level control through Deep Reinforcement Learning »  
→ jouer à la place du joueur à des jeux Atari 2600  
(et avoir de supers scores)



Rumeur : prochaine cible de DeepMind : **StarCraft !**

# DeepMind comme adversaire dans les jeux du commerce ?

Alors pourquoi ne pas utiliser DeepMind dans nos jeux ?

# DeepMind comme adversaire dans les jeux du commerce ?

Alors pourquoi ne pas utiliser DeepMind dans nos jeux ?

- Ça coûte cher à développer,  
formation de pointe, puissance de calcul, temps de développement, risque, etc.

# DeepMind comme adversaire dans les jeux du commerce ?

Alors pourquoi ne pas utiliser DeepMind dans nos jeux ?

- Ça coûte cher à développer,  
formation de pointe, puissance de calcul, temps de développement, risque, etc.  
(mais pas forcément gourmand en puissance une fois dans le jeu).

# DeepMind comme adversaire dans les jeux du commerce ?

Alors pourquoi ne pas utiliser DeepMind dans nos jeux ?

- Ça coûte cher à développer,  
formation de pointe, puissance de calcul, temps de développement, risque, etc.  
(mais pas forcément gourmand en puissance une fois dans le jeu).
- Le joueur ne s'en rendrait peut-être même pas compte... .
- Ce n'est peut-être même pas ce que recherche le joueur.

# DeepMind comme adversaire dans les jeux du commerce ?

Alors pourquoi ne pas utiliser DeepMind dans nos jeux ?

- Ça coûte cher à développer,  
formation de pointe, puissance de calcul, temps de développement, risque, etc.  
(mais pas forcément gourmand en puissance une fois dans le jeu).
- Le joueur ne s'en rendrait peut-être même pas compte... .
- Ce n'est peut-être même pas ce que recherche le joueur.

Conclusions :

- ① un jour peut-être, mais pas tout de suite
- ② en complément de techniques moins gourmandes voire simplistes
- ③ peut ouvrir de nouvelles perspectives, eg des dialogues enfin un peu moins pauvres.

# Spécificité de l'IA dans les jeux vidéos

Dans un jeu il y a des contraintes fortes :

- la jouabilité,
  - ressources restreintes (mémoire, temps de développement, temps de calcul, etc.)
- ⇒ **I'objectif de l'IA dans les jeux vidéos est de donner l'illusion d'un comportement intelligent**

# Spécificité de l'IA dans les jeux vidéos

Dans un jeu il y a des contraintes fortes :

- la jouabilité,
- ressources restreintes (mémoire, temps de développement, temps de calcul, etc.)

⇒ **I'objectif de l'IA dans les jeux vidéos est de donner  
l'illusion d'un comportement intelligent**

Tous les moyens sont bons pour que cette illusion soit réaliste, y compris tricher :

- information sur l'état du joueur, par exemple sa position,
- information sur l'environnement,
- ressources (eg munitions), etc.

# Exemple de domaines d'application de l'IA dans les jeux vidéos

- **Le déplacement** des « personnages »,  
qui doit sembler au moins naturel même dans un monde discret (pixels),  
inclus : **le suivi, l'évitement, le comportement en groupe,**  
voire des algos plus pointus comme la **recherche de chemin**.

# Exemple de domaines d'application de l'IA dans les jeux vidéos

- Le déplacement des « personnages »,  
qui doit sembler au moins naturel même dans un monde discret (pixels),  
inclus : le suivi, l'évitement, le comportement en groupe,  
voire des algos plus pointus comme la recherche de chemin.
- Les **interactions** personnage(s)–joueur(s) et personnage(s)–personnage(s),  
inclus la **gestion des champs perceptifs** (visuel, auditif, etc.),  
voire les **dialogues**...

# Exemple de domaines d'application de l'IA dans les jeux vidéos

- Le déplacement des « personnages »,  
qui doit sembler au moins naturel même dans un monde discret (pixels),  
inclus : le suivi, l'évitement, le comportement en groupe,  
voire des algos plus pointus comme la recherche de chemin.
- Les interactions personnage(s)–joueur(s) et personnage(s)–personnage(s),  
inclus la gestion des champs perceptifs (visuel, auditif, etc.),  
voire les dialogues... .
- **l'animation** 2D ou 3D (enfin 4D ;-).

## Exemple de domaines d'application de l'IA dans les jeux vidéos

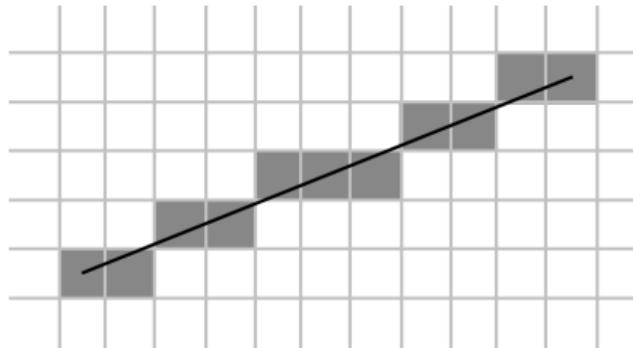
- Le déplacement des « personnages »,  
qui doit sembler au moins naturel même dans un monde discret (pixels),  
inclus : le suivi, l'évitement, le comportement en groupe,  
voire des algos plus pointus comme la recherche de chemin.
- Les interactions personnage(s)–joueur(s) et personnage(s)–personnage(s),  
inclus la gestion des champs perceptifs (visuel, auditif, etc.),  
voire les dialogues... .
- l'animation 2D ou 3D (enfin 4D ;-).

Mais aussi le cas échéant : la **création de l'environnement**, une **stratégie globale**, etc.

# Exemple de techniques informatiques utilisées pour l'IA dans les jeux

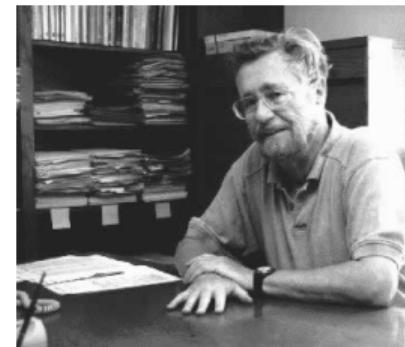
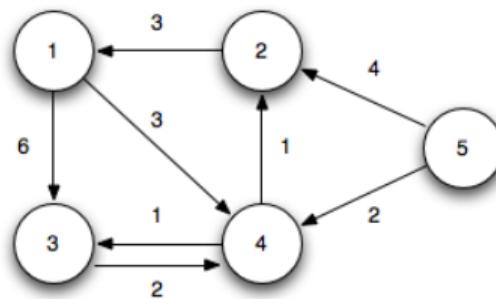
- **techniques d'image,**

par exemple l'algorithme de tracé de segment de Bresenham (publié en 1963) pour les déplacements dans un univers discret (pavés ou pixels) :



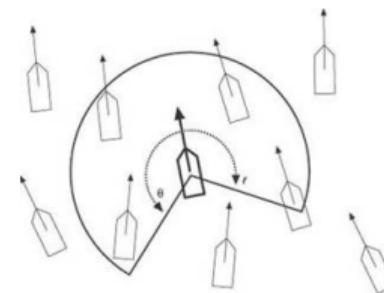
# Exemple de techniques informatiques utilisées pour l'IA dans les jeux

- techniques d'image,  
par exemple l'algorithme de tracé de segment de Bresenham (publié en 1963)
- **technique de recherche opérationnelle**  
par exemple d'algorithme de Dijkstra (publié en 1959)



# Exemple de techniques informatiques utilisées pour l'IA dans les jeux

- techniques d'image,  
par exemple l'algorithme de tracé de segment de Bresenham (publié en 1963)
- technique de recherche opérationnelle  
par exemple d'algorithme de Dijkstra (publié en 1959)
- **étude du comportement** animal ou humain, exemple : agrégation ou « flocking »  
(simulé sur ordinateur par Craig Reynolds (1987))



# Exemple de techniques informatiques utilisées pour l'IA dans les jeux

- techniques d'image,  
par exemple l'algorithme de tracé de segment de Bresenham (publié en 1963)
- technique de recherche opérationnelle  
par exemple d'algorithme de Dijkstra (publié en 1959)
- étude du comportement animal ou humain, exemple : agrégation ou « flocking »  
(simulé sur ordinateur par Craig Reynolds (1987))
- application des lois de la physique voire de **modèles physiques**

# Exemple de techniques informatiques utilisées pour l'IA dans les jeux

- techniques d'image,  
par exemple l'algorithme de tracé de segment de Bresenham (publié en 1963)
- technique de recherche opérationnelle  
par exemple d'algorithme de Dijkstra (publié en 1959)
- étude du comportement animal ou humain, exemple : agrégation ou « flocking »  
(simulé sur ordinateur par Craig Reynolds (1987))
- application des lois de la physique voire de modèles physiques
- IA « if-then » : if-then-else, automates, scripts
- IA symbolique (rare) : systèmes experts, logique floue, systèmes multi-agents, . . .
- IA numérique (très rare) : réseaux de neurones artificiels

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- Flocking

## Recherche du plus court chemin : Dijkstra

Objectif : **plus court chemin** dans un graphe orienté pondéré par des réels positifs

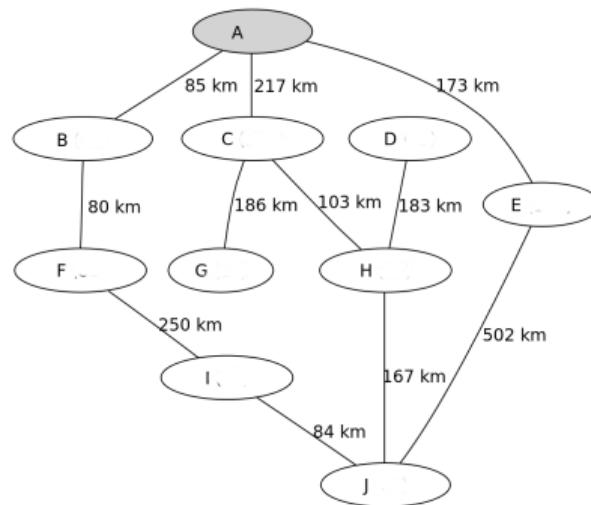
Principe : on construit progressivement un sous-graphe dans lequel sont classés les sommets par ordre croissant de leur distance minimale au sommet de départ

À chaque itération :

- ① on choisit en dehors du sous-graphe un sommet de distance minimale et on l'ajoute au sous-graphe
- ② on met à jour les distances des sommets voisins de celui ajouté
- ③ on continue jusqu'à épuisement des sommets (ou jusqu'à l'arrivée)

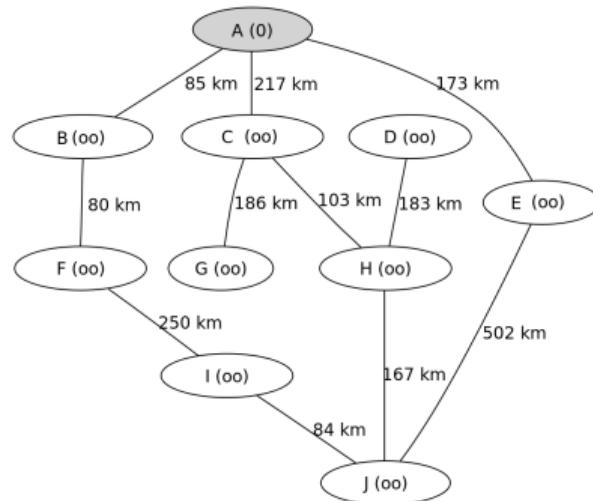
# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J :**



# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :

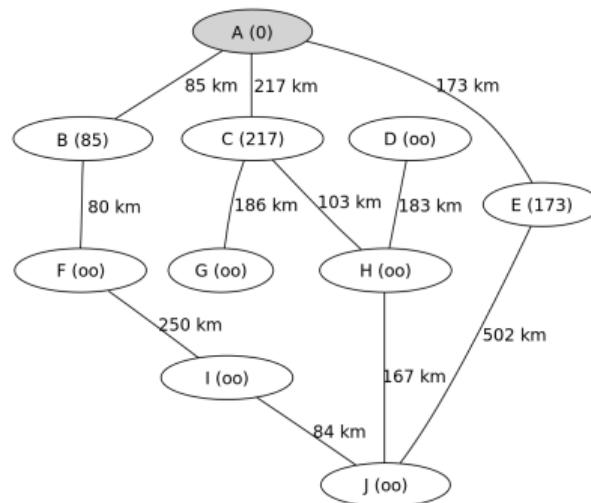


## Étape 0 (initialisation) :

- on considère que les distances de chaque sommet au sommet de départ sont infinies sauf pour le sommet de départ pour lequel la distance est de 0
- le sous-graphe de départ est l'ensemble vide

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



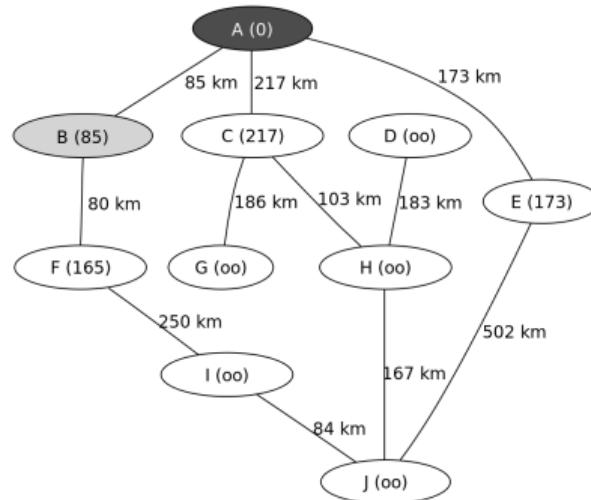
## Étape 1 :

- ➊ on choisit la ville A
- ➋ on met à jour les villes voisines de A

⇒ Les distances de B, C et E deviennent 85, 217, 173

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



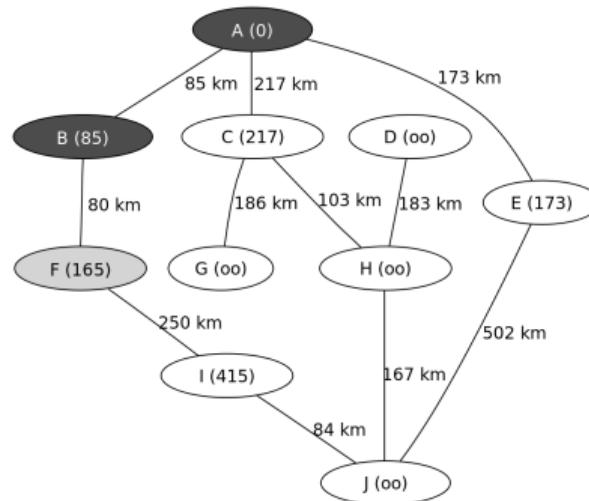
## Étape 2 :

- ① on choisit la ville B car c'est la ville hors du sous-graphe qui est à la distance minimale (85)
- ② on met à jour le seul voisin (F)

⇒ La distance de F devient  $85+80 = 165$

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :

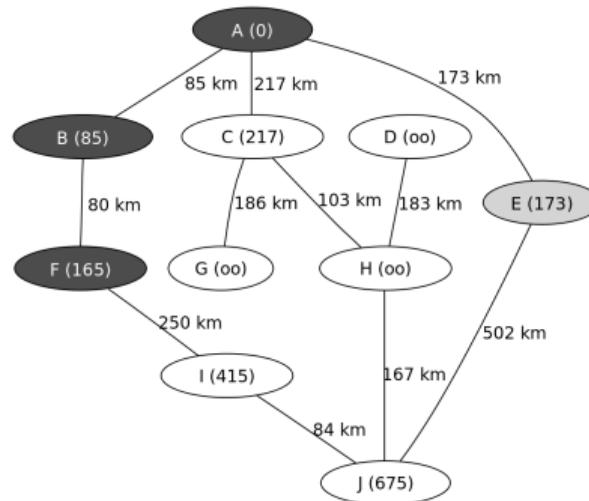


## Étape 3 :

- ❶ on choisit F
- ❷ on met à jour le voisin I (415)

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :

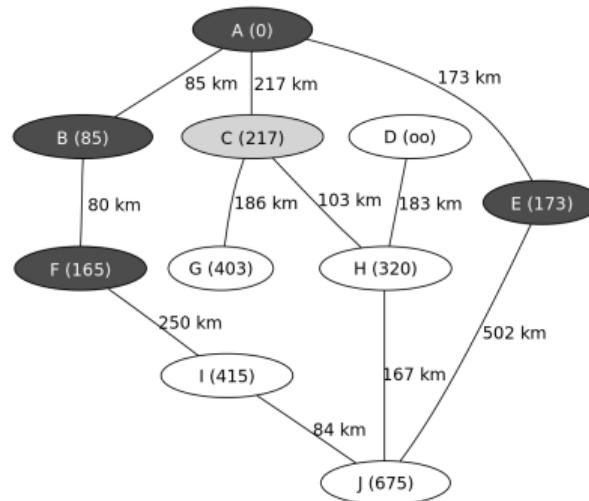


## Étape 4 :

- ❶ on choisit E
- ❷ on met à jour le voisin J (675)

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



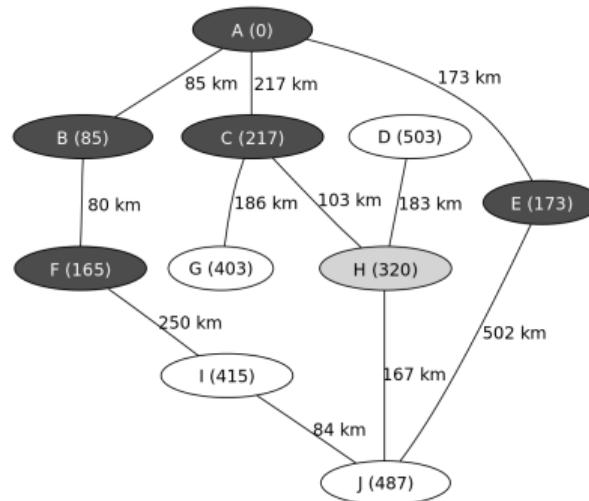
## Étape 5 :

La distance la plus courte en dehors du sous-graphe est maintenant celle de la ville C.

- ➊ on choisit donc C
- ➋ on met à jour la ville G (403) et la ville H (320)

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



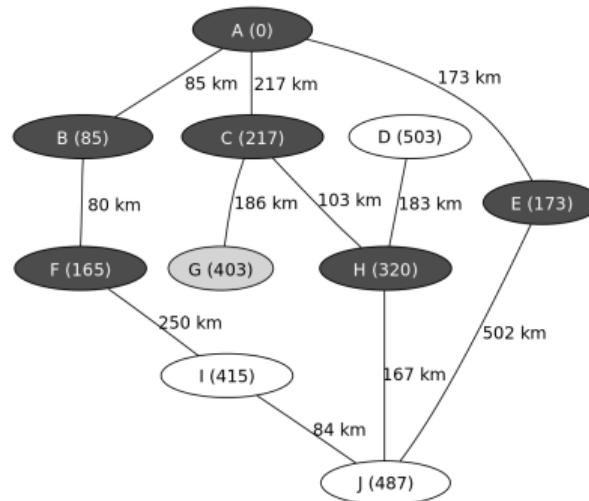
## Étape 6 :

La distance la plus courte en dehors du sous-graphe est maintenant celle de H (320).

- ➊ on choisit donc H
- ➋ on met à jour la ville D (503) et la ville J ( $487 < 675$ )

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



## Étape 7 :

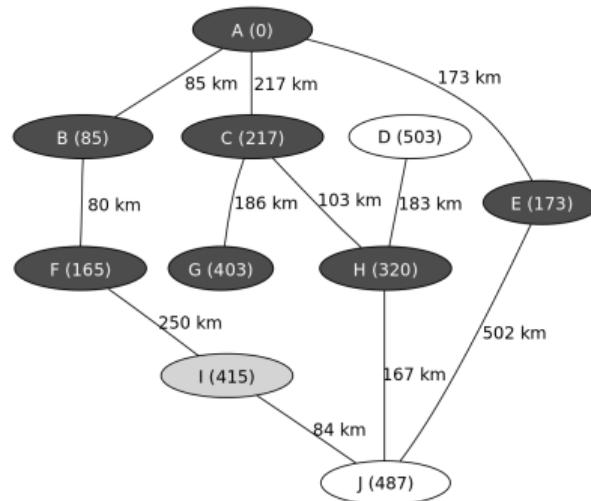
La distance la plus courte suivante est celle de la ville G.

- 1 On choisit G

La mise à jour ne change aucune autre distance.

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J** :



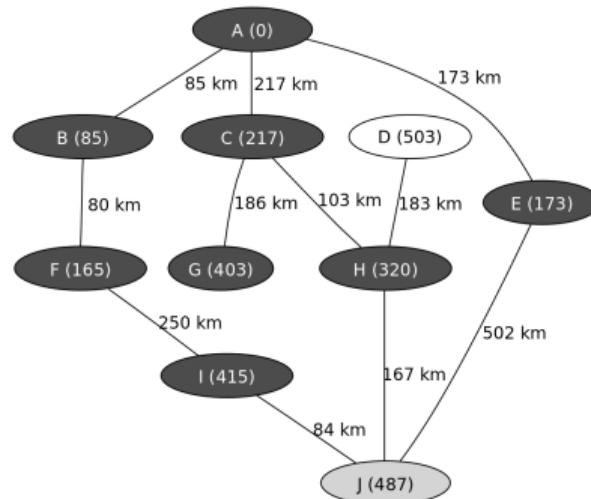
## Étape 8 :

La distance la plus courte suivante est celle de la ville I.

La distance de la ville voisine J n'est pas modifiée car la distance existante est inférieure à celle que l'on obtiendrait en passant par I ( $415 + 84 > 487$ ).

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J :**



## Étape 9 :

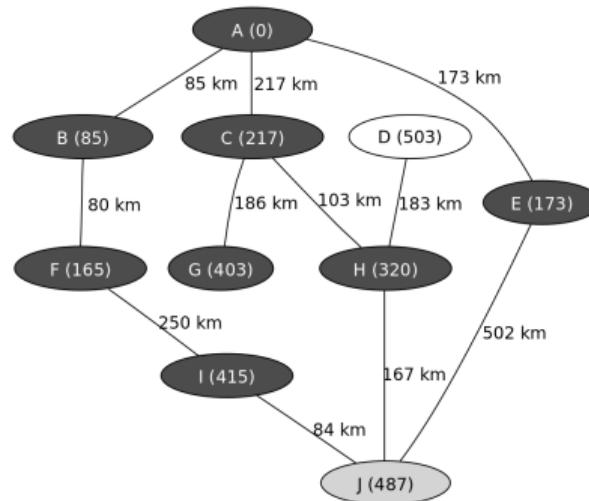
La ville dont la distance est la plus courte est J (487).

- ① on choisit J et on l'ajoute au sous-graphe
- ② on s'arrête puisque la ville d'arrivée est maintenant dans le sous-graphe

⇒ **le plus court chemin de A à J fait 487 km**

# Exemple d'utilisation de Dijkstra dans un graphe non-orienté

On va calculer le **plus court trajet pour aller de la ville A à la ville J :**



## Étape 10 : recherche du chemin

Pour expliciter le chemin il faut avoir mémorisé d'où on venait à chaque fois qu'on a changé la distance d'une ville,

dès lors, arrivé à J, il suffit de rebrousser chemin pour trouver H, C et enfin A !

⇒ **le plus court chemin est A → C → H → J**

# Questions

Dans le cas d'un trajet en voiture, comment faire pour prendre en compte

- le **type de voie** (autoroute, route, chemin, désert, jungle, . . . ) ?
- le **type de véhicule**, etc.



# Questions

Dans le cas d'un trajet en voiture, comment faire pour prendre en compte

- le **type de voie** (autoroute, route, chemin, désert, jungle, ... ) ?
- le **type de véhicule**, etc.



Idées de solution : – valuer avec le temps plutôt que la distance,  
– coefficients (type de véhicule, météo, fatigue, blessure, etc.)

# À faire... et à rendre !

- ➊ Faire tourner l'algorithme en le programmant en C, C++, C#, Java, Python (au choix, pas tous !)

## À faire... et à rendre !

- ① Faire tourner l'algorithme en le programmant en C, C++, C#, Java, Python (au choix, pas tous !)
- ② Essayez le graphe des transparents précédents
- ③ Essayez avec un très gros graphe
- ④ Essayez avec un graphe orienté

# À faire... et à rendre !

- ① Faire tourner l'algorithme en le programmant en C, C++, C#, Java, Python (au choix, pas tous !)
- ② Essayez le graphe des transparents précédents
- ③ Essayez avec un très gros graphe
- ④ Essayez avec un graphe orienté
- ⑤ Introduire une idée personnelle dans le cadre d'un jeu

## À faire... et à rendre !

- ① Faire tourner l'algorithme en le programmant en C, C++, C#, Java, Python (au choix, pas tous !)
- ② Essayez le graphe des transparents précédents
- ③ Essayez avec un très gros graphe
- ④ Essayez avec un graphe orienté
- ⑤ Introduire une idée personnelle dans le cadre d'un jeu

Remarques : – cette version de l'algorithme de fonctionne pas pour le voyage dans le temps car les valuations des arcs doivent être positives...  
– dans un jeu la destination peut être un personnage qui se déplace  
– dans un jeu le graphe peut changer dans le temps  
– ...

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

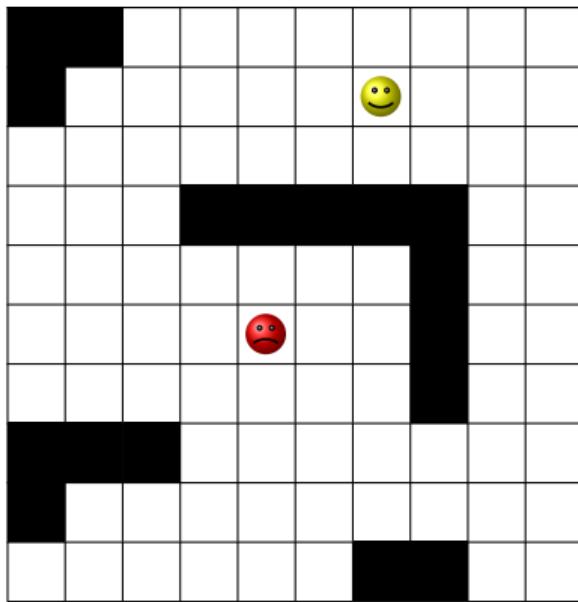
- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

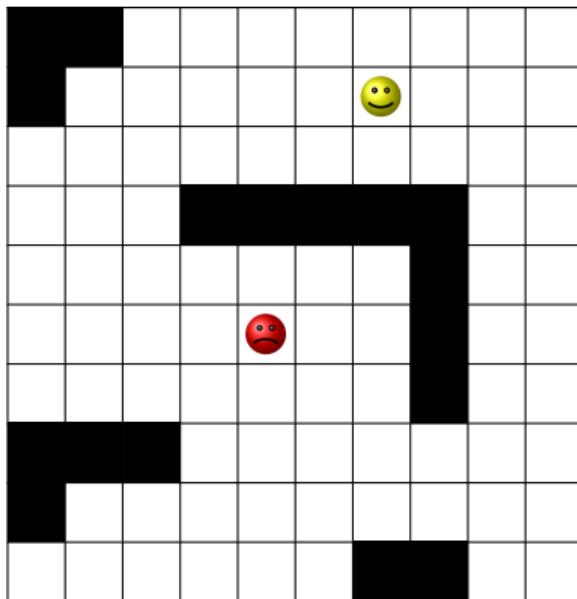
- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- **Recherche du plus court chemin : algorithme A\***
- Flocking

# Algorithme A\*



L'IA 😟 veut attaquer le joueur 😊  
mais quel chemin 😟 doit-elle suivre ?

# Algorithme A\*



L'IA 😟 veut attaquer le joueur 😊  
mais quel chemin 😟 doit-elle suivre ?

## Problèmes :

- trouver le plus court chemin
- éviter les obstacles
- ne pas consommer trop de ressources (CPU)

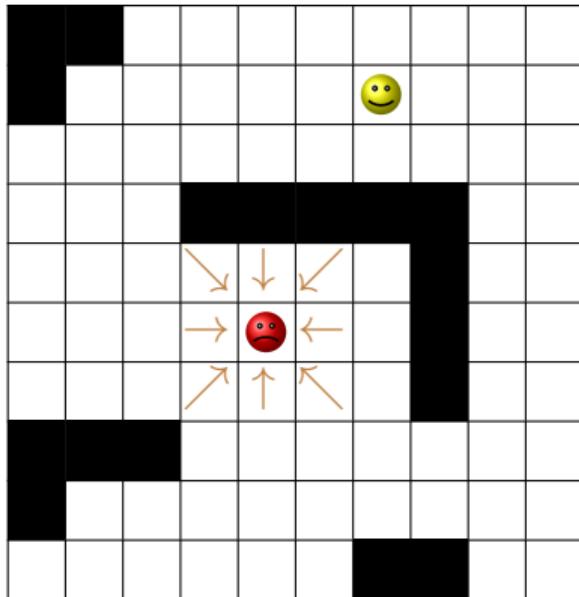
⇒ utilisation de l'algorithme « A\* » !

## Algorithme A\* (détail)

- ① ajouter le point de départ à la « liste ouverte »  
en lui attribuant un « coût » nul
- ② tant que la **liste ouverte** n'est pas vide :
  - ① considérer la position **X** de la **liste ouverte** avec le coût minimum  
si 😊 ∈ **X** alors c'est terminé (sortir)
  - ② déplacer **X** de la **liste ouverte** à la « **liste fermée** »
  - ③ pour toutes les positions **Y** voisines (adjacentes) de **X**  
si **Y** n'est ni dans la **liste ouverte** ni dans la **liste fermée** ni un **obstacle**  
ajouter **Y** dans la **liste ouverte** et calculer son coût

Remarques : – la **liste ouverte** contient les positions (encore) à analyser  
– la **liste fermée** contient les positions qui n'ont plus à être analysées  
ie les positions dont toutes les voisines ont été vérifiées

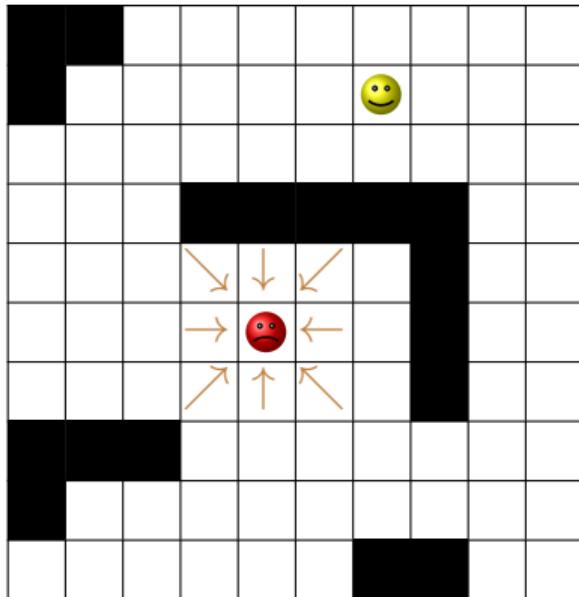
# Algorithme A\* (penser à semer des caillons pour retrouver son chemin)



Attention : il faut conserver la trace du trajet

- ⇒ lorsqu'on ajoute **Y** à la **liste ouverte**  
on garde la trace de la position « d'où on vient » (**X**)
- ⇒ il sera possible de remonter jusqu'à **?** depuis **!**

# Algorithme A\* (penser à semer des caillons pour retrouver son chemin)

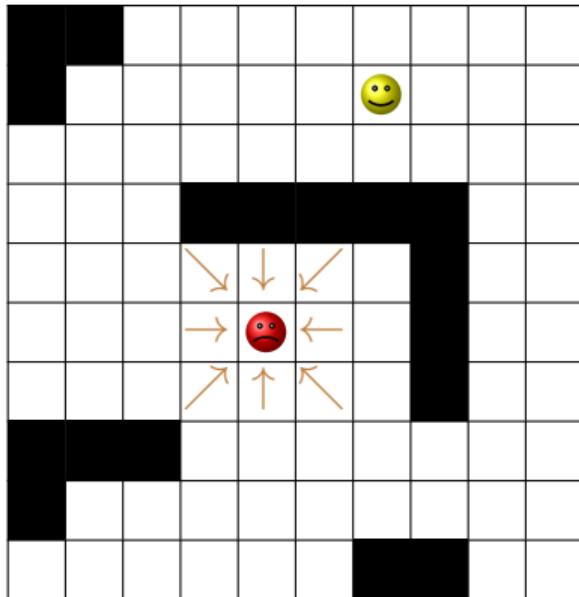


Attention : il faut conserver la trace du trajet

- ⇒ lorsqu'on ajoute **Y** à la **liste ouverte**  
on garde la trace de la position « d'où on vient » (**X**)
- ⇒ il sera possible de remonter jusqu'à **?** depuis **!**

Mais comment calculer le coût d'une position ?

# Algorithme A\* (penser à semer des caillons pour retrouver son chemin)



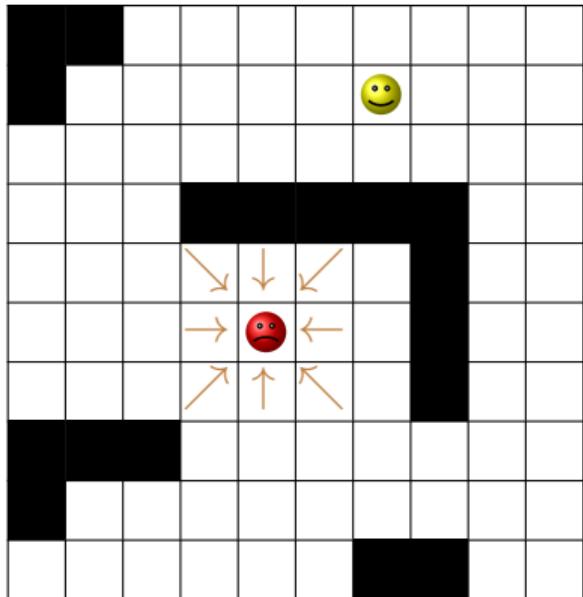
Attention : il faut conserver la trace du trajet

- ⇒ lorsqu'on ajoute **Y** à la **liste ouverte**  
on garde la trace de la position « d'où on vient » (**X**)
- ⇒ il sera possible de remonter jusqu'à **?** depuis **!**

Mais comment calculer le coût d'une position ?

coût(**Y**) = **distance depuis** **?** (**déplacements**)  
+ **estimation de la distance jusqu'à** **!**

# Algorithme A\* (penser à semer des caillons pour retrouver son chemin)



Attention : il faut conserver la trace du trajet

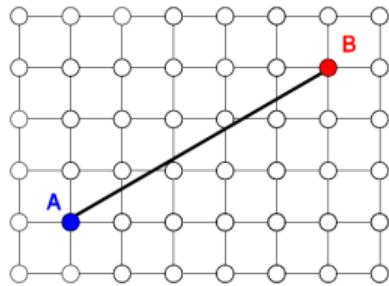
- ⇒ lorsqu'on ajoute **Y** à la liste ouverte on garde la trace de la position « d'où on vient » (**X**)
- ⇒ il sera possible de remonter jusqu'à **?** depuis **!**

Mais comment calculer le coût d'une position ?

coût(**Y**) = distance depuis **?** (déplacements)  
+ estimation de la distance jusqu'à **!**  
→ sans prendre en compte les obstacles !

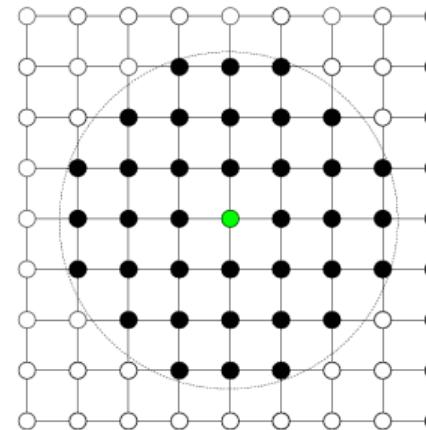
# Calcul d'une distance : distance euclidienne

Facile à calculer



$$d_E(A, B) = \sqrt{5^2 + 3^2} = \sqrt{34}$$

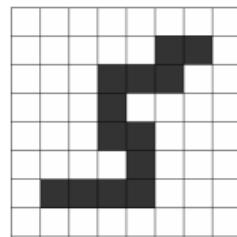
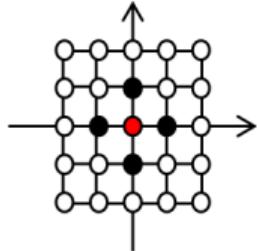
mais pas très pratique dans un monde discret :



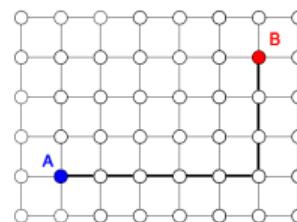
$$B_{\sqrt{10}}^{d_E}(C) = \left\{ z \in \mathbf{Z}^2 ; d_E(z, c) \leq \sqrt{10} \right\}$$

# Calcul d'une distance : distance discrète avec 4 voisins

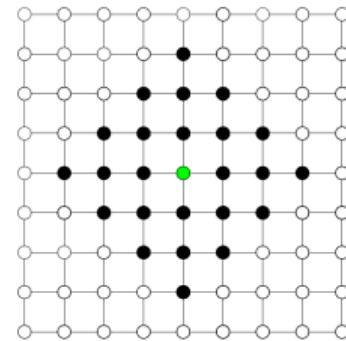
Facile à calculer  
mais pas très « naturelle »



$$d_4(A, B) = |x_A - x_B| + |y_A - y_B|$$



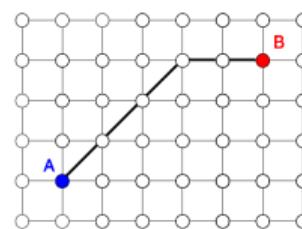
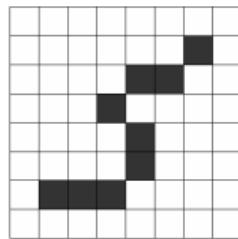
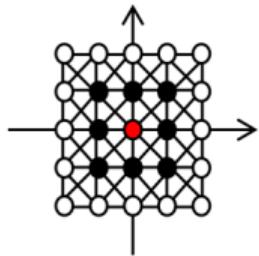
$$d_4(A, B) = 5 + 3 = 8$$



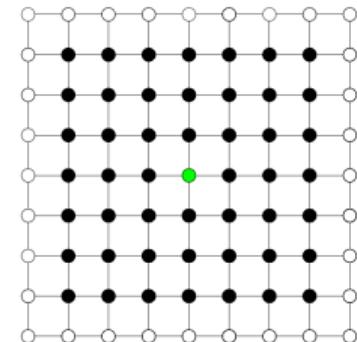
$$B_3^{d_4}(C) = \{z \in \mathbf{Z}^2; d_4(z, c) \leq 3\}$$

# Calcul d'une distance : distance discrète avec 8 voisins

À peine plus lourde en calcul  
et davantage « fluide »

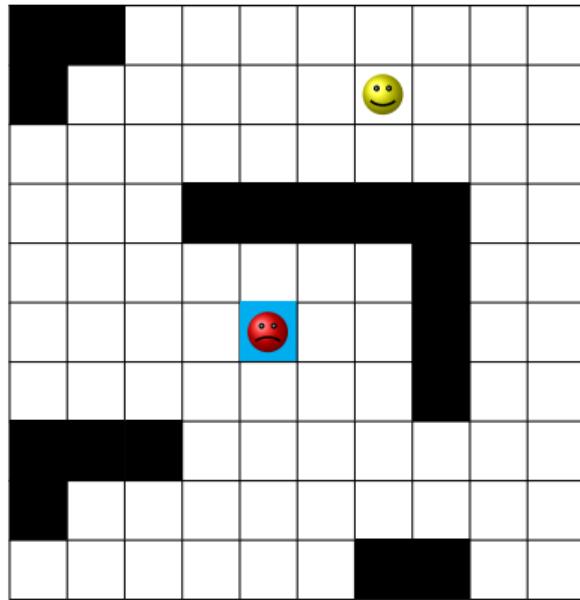


$$d_8(A, B) = \max(5, 4) = 5$$



$$B_3^{d_8}(C) = \{z \in \mathbf{Z}^2; d_8(z, c) \leq 3\}$$

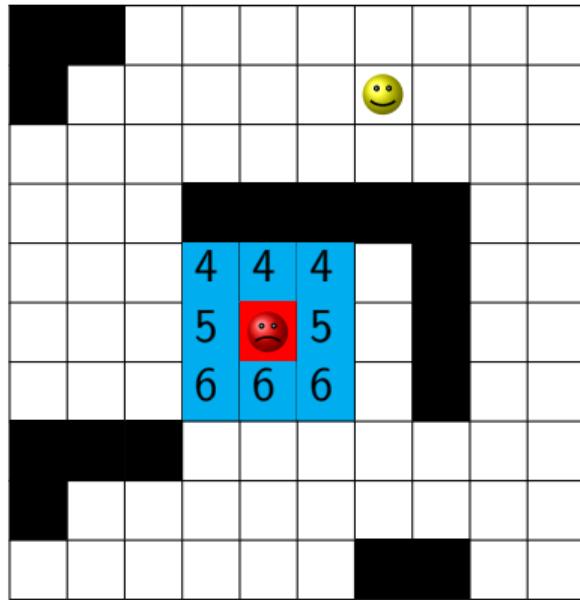
# Algorithme A\* (déroulé – étape 1)



Déroulons l'algorithme :

- ① liste ouverte = [ 😞 ]
- ② liste fermée = []

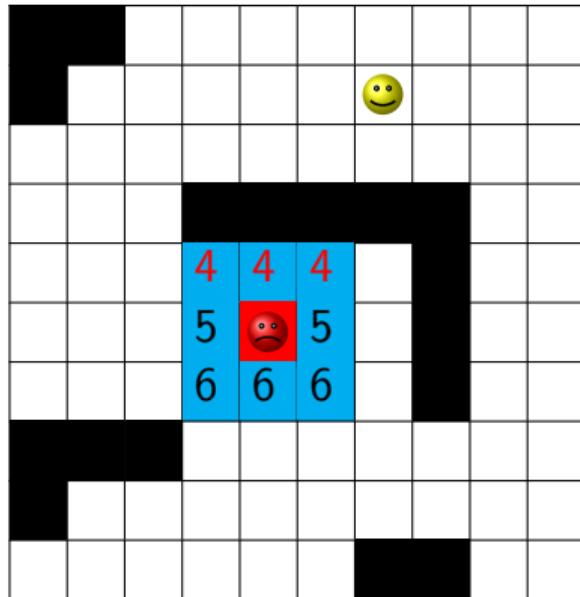
# Algorithme A\* (déroulé – étape 2)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ]
- ➋ liste fermée = [ ]

# Algorithme A\* (déroulé – étape 2)



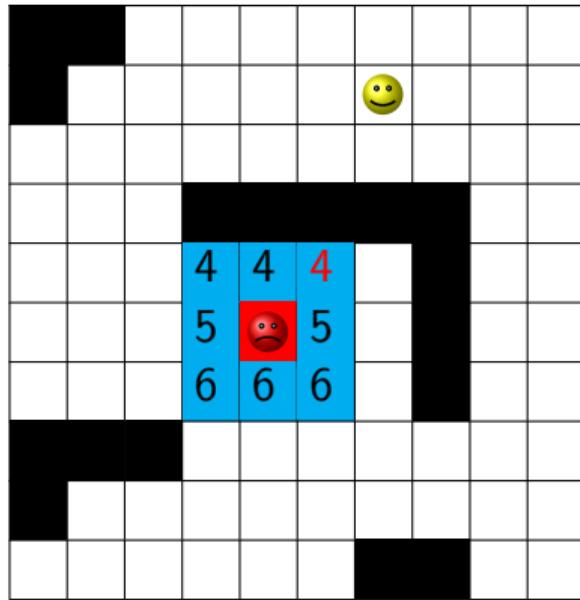
Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ]
- ➋ liste fermée = [ ]

Choix du nouveau :

on a **3 positions avec le même coût**

## Algorithme A\* (déroulé – étape 2)



Déroulons l'algorithme :

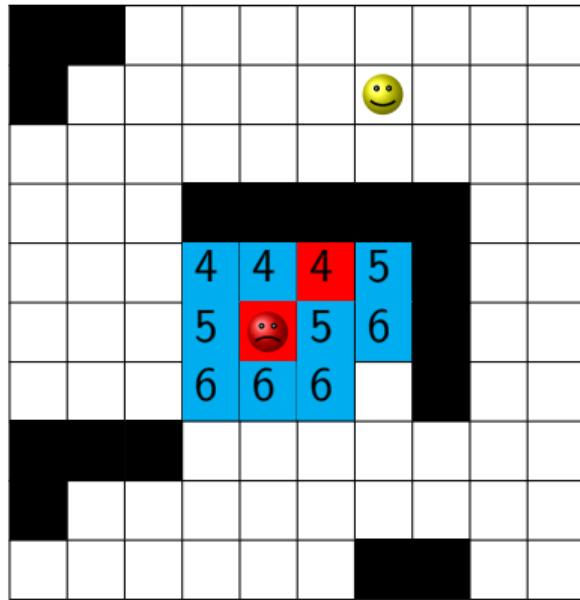
- ➊ liste ouverte = [ ]
- ➋ liste fermée = [ ]

Choix du nouveau :

on a 3 positions avec le même coût

⇒ on en choisit une au hasard (pas grave)

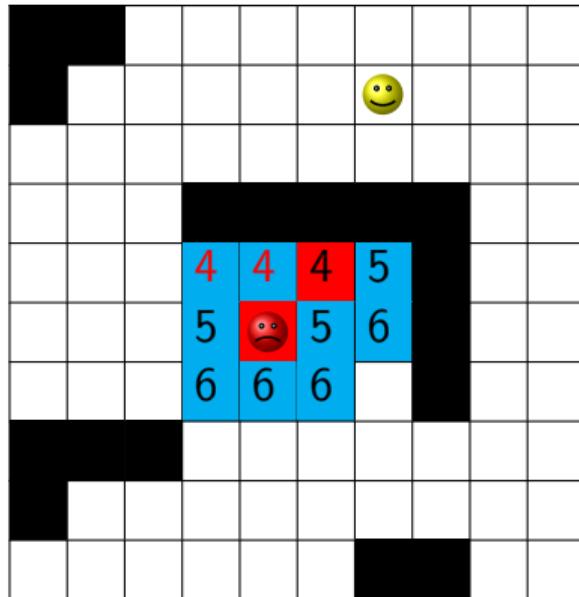
# Algorithme A\* (déroulé – étape 3)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – étape 3)



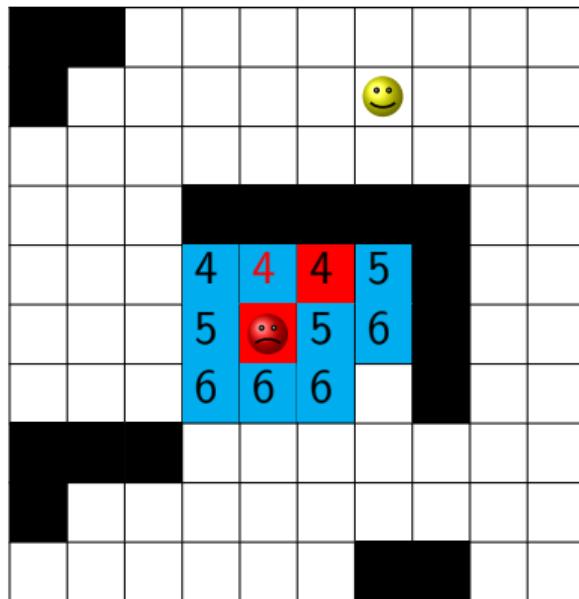
Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

Choix du nouveau X :

on a 2 positions avec le même coût

## Algorithme A\* (déroulé – étape 3)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

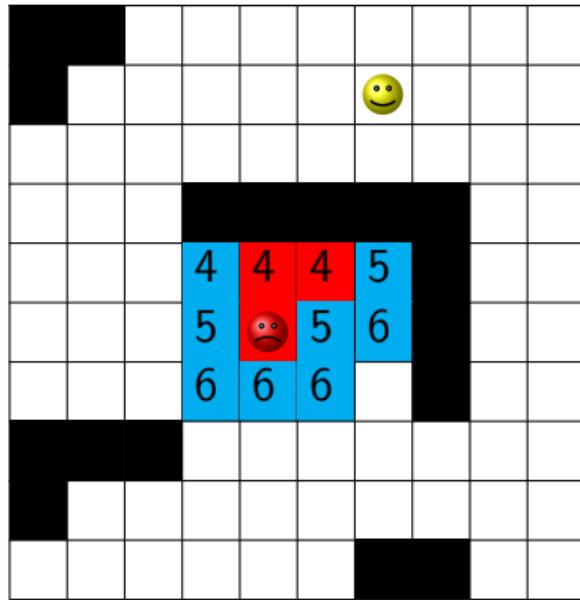
Choix du nouveau X :

on a 2 positions avec le même coût

⇒ on en choisit une au hasard

→ aucun voisin ne peut entrer dans la liste ouverte

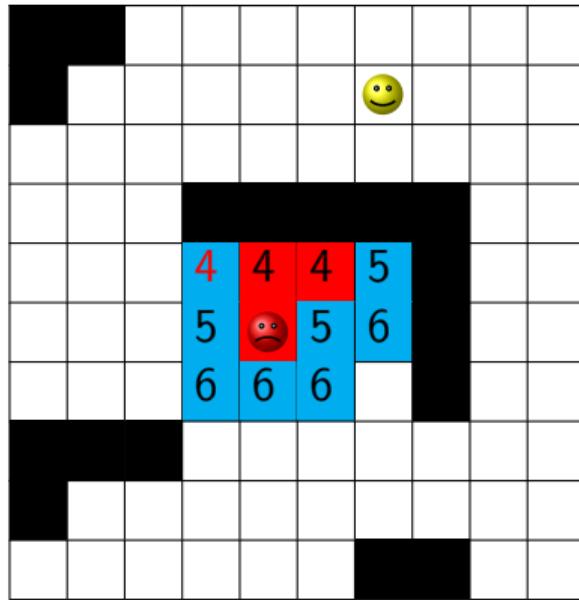
# Algorithme A\* (déroulé – étape 4)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – étape 4)



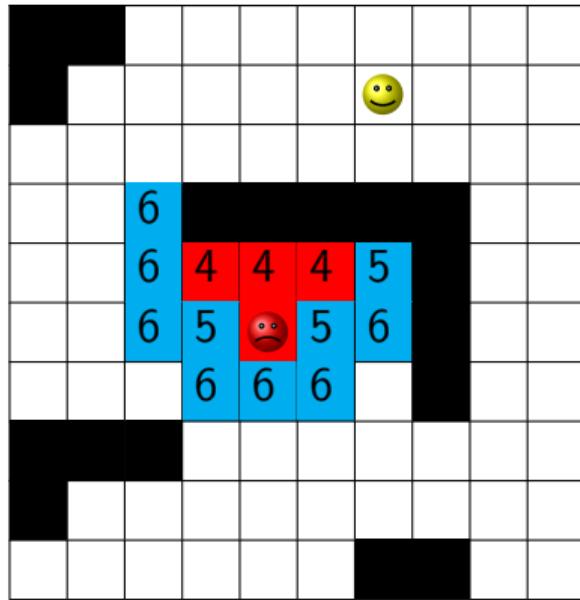
Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

Choix du nouveau X :

on a un seul choix possible

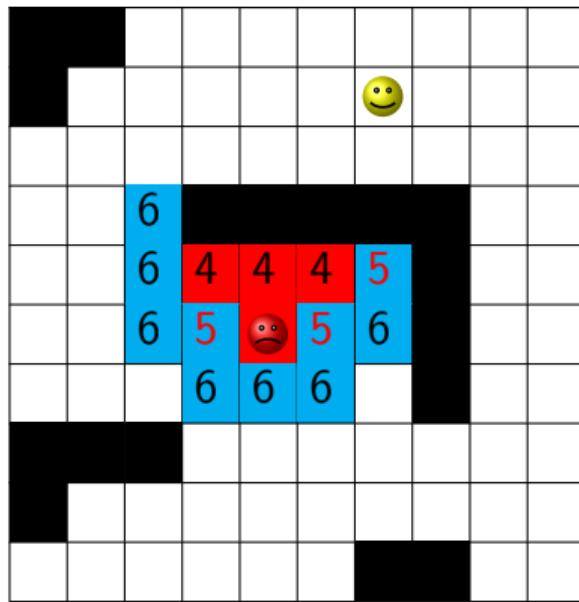
# Algorithme A\* (déroulé – étape 5)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – étape 5)



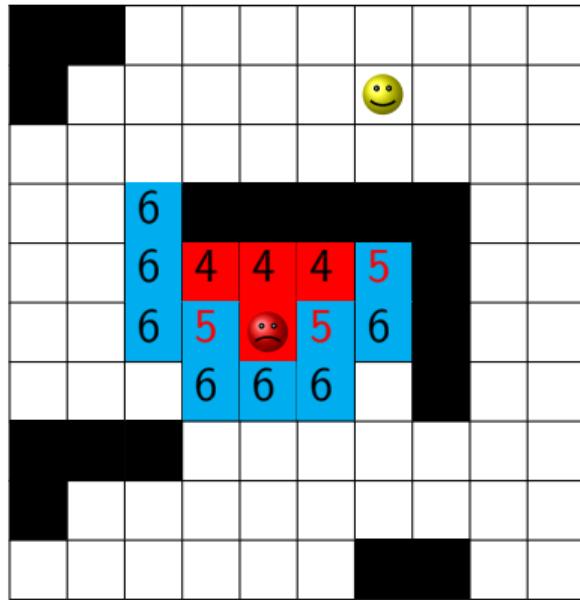
Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

Choix du nouveau X :

on a 3 positions avec le même coût

# Algorithme A\* (déroulé – étape 5)



Déroulons l'algorithme :

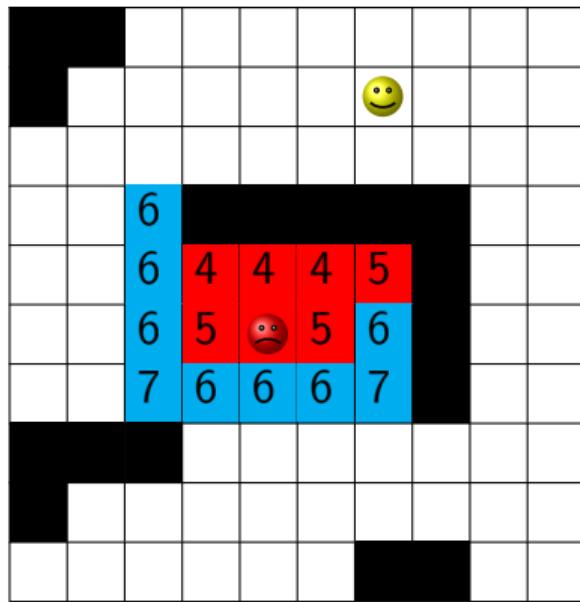
- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

Choix du nouveau X :

on a 3 positions avec le même coût

*accélérerons un peu en traitant tous les 5...*

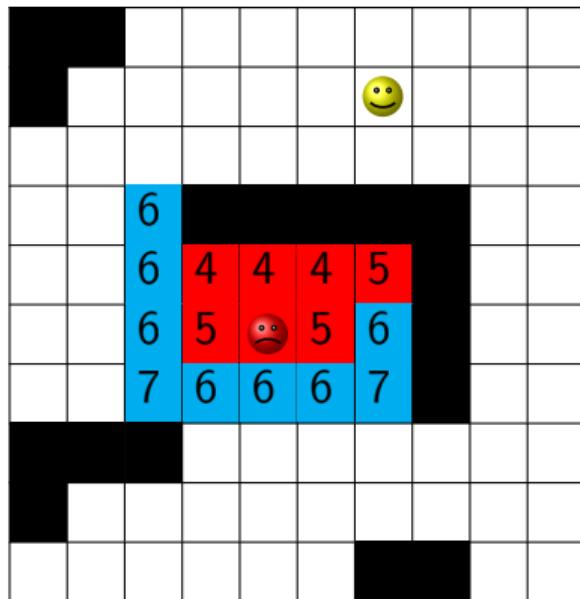
# Algorithme A\* (déroulé – résultat après avoir traité tous les 5)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – résultat après avoir traité tous les 5)

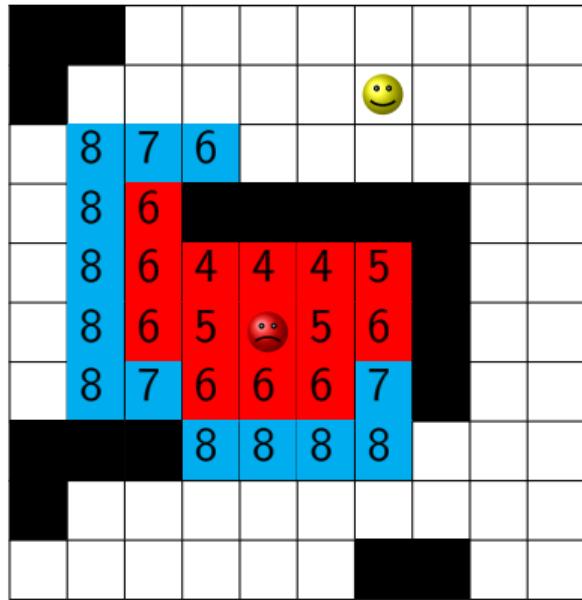


Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

*accélérerons un peu en traitant tous les 6...*

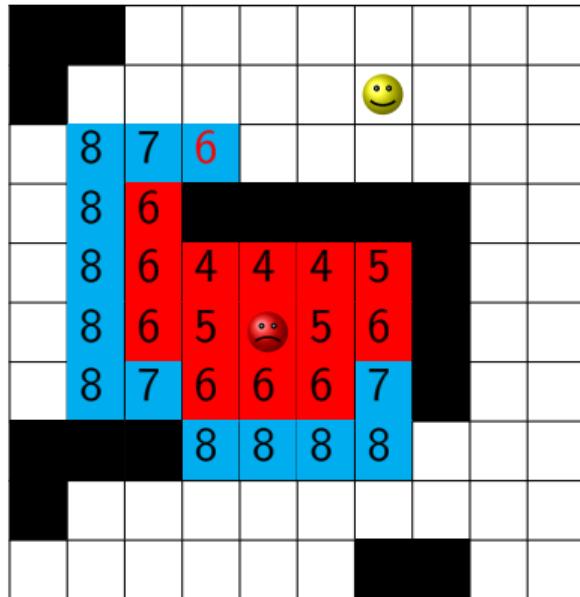
# Algorithme A\* (déroulé – résultat après avoir traité tous les 6)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – résultat après avoir traité tous les 6)



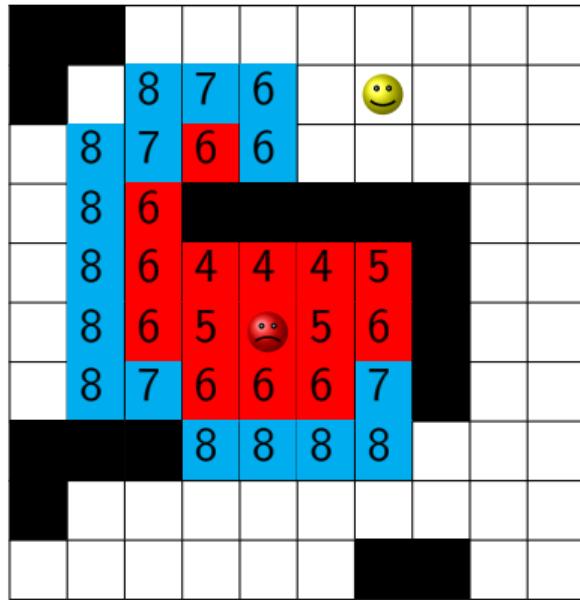
Déroulons l'algorithme :

- ① liste ouverte = [ ■ ]
- ② liste fermée = [ ■ ]

Remarques :

- un nouveau **6** apparaît et sera le prochain **X**
- les coûts commencent à être réalistes  
⇒ « chemin du haut » probable
- les positions du bas sont sur la **liste ouverte**  
⇒ une autre voie reste possible si besoin !

# Algorithme A\* (déroulé – traitement des nouveaux 6)



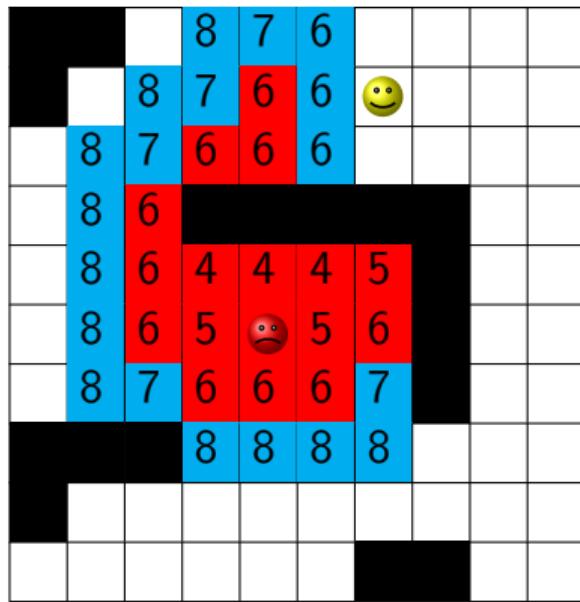
Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

Encore des 6 !

⇒ plusieurs choix possibles  
⇒ plusieurs issues possibles !

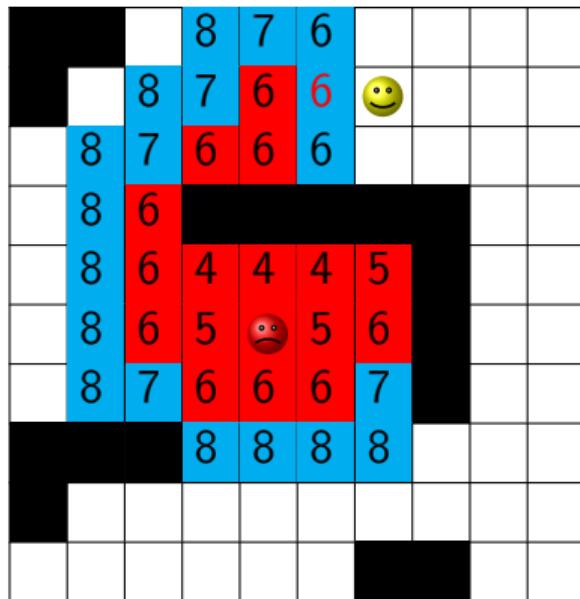
# Algorithme A\* (déroulé – traitement des nouveaux nouveaux 6)



Déroulons l'algorithme :

- ➊ liste ouverte = [ ■ ]
- ➋ liste fermée = [ ■ ]

# Algorithme A\* (déroulé – traitement des nouveaux nouveaux 6)



Déroulons l'algorithme :

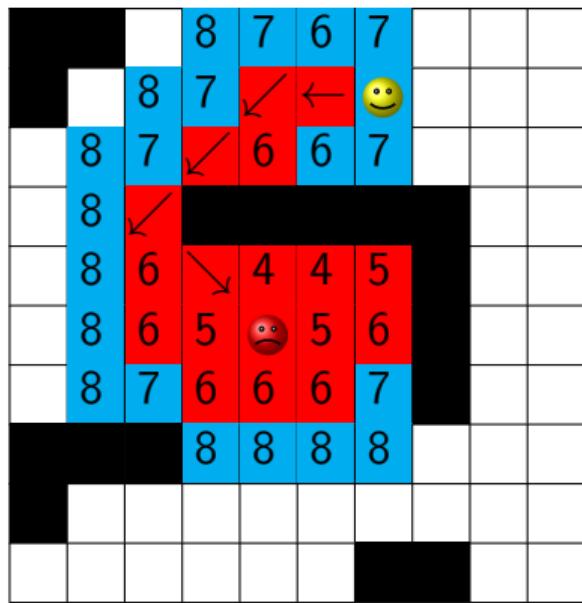
- ➊ liste ouverte = [ ]
- ➋ liste fermée = [ ]

On approche, prenons un **6** au hasard

Remarques :

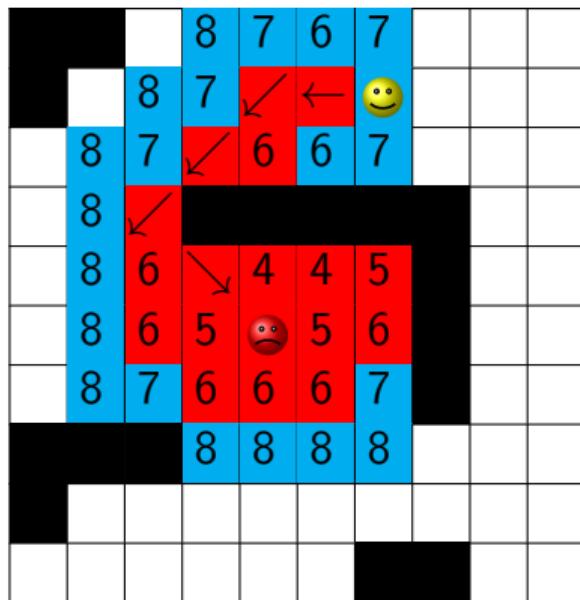
- on a plusieurs chemins possibles  
mais **tous de la même longueur**
- le chemin par le 6 du haut est un peu bizarre  
(petites améliorations possibles)

# Algorithme A\* (déroulé – retour à l'origine via la trace laissée)



Dès que 😊 entre dans la liste ouverte ou s'arrête  
il n'y a plus qu'à remonter à la source  
en suivant la trace laissée à l'allée

# Algorithme A\* (déroulé – retour à l'origine via la trace laissée)

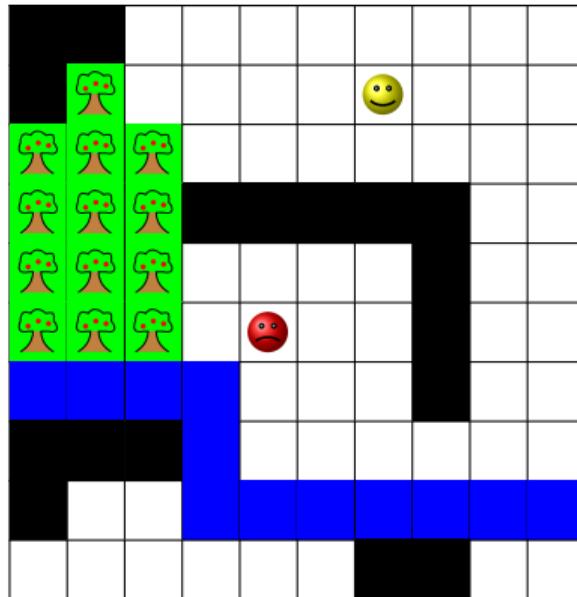


Dès que 😊 entre dans la liste ouverte ou s'arrête il n'y a plus qu'à remonter à la source en suivant la trace laissée à l'allée

Remarques :

- si on avait eu une liste ouverte vide  
⇒ aucun chemin possible

# Algorithme A\* – ajout d'un sur-coût selon le terrain



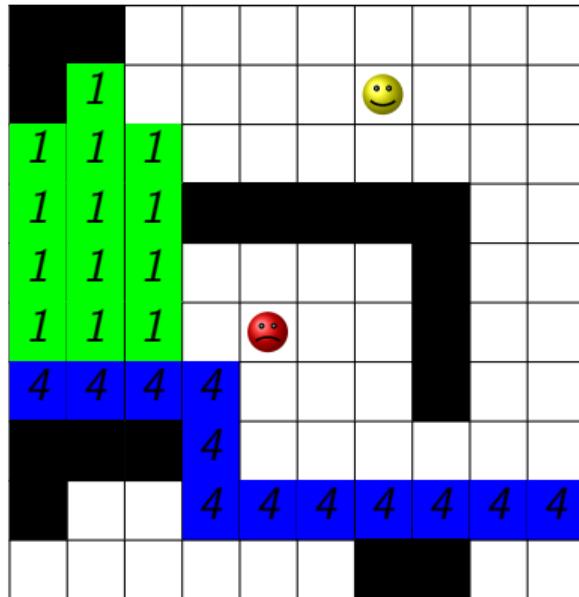
On peut prendre en compte le type de terrain via un sur-coûts associé à chaque position :

coût( $\textcolor{brown}{Y}$ ) = distance depuis 😞

+ estimation de la distance jusqu'à 😊

+ coût du terrain de la position  $\textcolor{red}{Y}$

## Algorithme A\* – ajout d'un sur-coût selon le terrain



On peut prendre en compte le type de terrain via un sur-coûts associé à chaque position :

coût(Y) = distance depuis ☹

+ estimation de la distance jusqu'à ☺

+ coût du terrain de la position Y

Par exemple : – forêt = 1,  
– rivière = 4,  
– falaise = 10, etc.

## Algorithme A\* – cartes dynamiques

On peut aussi **modifier la carte des sur-coûts en fonction du game play**, par exemple :

- ajout d'un gros sur-coût sur la ligne de mire d'un char  
⇒ on peut traverser mais c'est risqué !
- augmentation du coût de la position où le personnage contrôlé par l'IA se fait tuer par le joueur  
⇒ évite les guet-apens  
⇒ peut faire passer l'IA de « méga stupide » à « rusée »  
car l'IA semble avoir compris la tactique du joueur !
- etc.

## À faire... et à rendre !

- ① Implémenter l'algorithme A\* (langage au choix)  
avec un affichage au choix dans la console ou graphique
- ② Essayer sur l'exemple du cours
- ③ Donner au joueur la possibilité de déplacer 😊  
(par exemple via les touches du pavé numérique)  
et lancer un ou plusieurs 😟 à sa poursuite !

**Facultatif** : si 😊 croque un gâteau il peut durant 10 cycles tuer 😟 !  
⇒ il faut modifier le comportement de 😟

**Remarque** : rester simple (structure de données, graphismes, etc.)

1

## Définition de l'Intelligence Artificielle

- L'IA selon Wikipédia
- L'IA dans la littérature, le cinéma, et la recherche
- L'IA pour les jeux vidéos

2

## Quelques algorithmes indispensables

- Recherche du plus court chemin : Dijkstra
- Recherche du plus court chemin : algorithme A\*
- **Flocking**

# Définition du Flocking dans le règne animal

## Définition de Wikipédia

Le flocking – ou agrégation en français – désigne un regroupement plus ou moins temporaire d'animaux grégaires.

Il y a plusieurs synonymes selon l'espèce :

- une **nuée** (ou une ronde) d'oiseaux
- un **banc** de poissons
- un **essaim** d'insectes
- un **troupeau** de mammifères

# Définition du Flocking dans le règne animal

## Définition de Wikipédia

Le flocking – ou agrégation en français – désigne un regroupement plus ou moins temporaire d'animaux grégaires.

Il y a plusieurs synonymes selon l'espèce :

- une **nuée** (ou une ronde) d'oiseaux  $\equiv$  *a flock of birds* ..... *foraging*
- un **banc** de poissons  $\equiv$  *school of fish* ..... *shoaling*
- un **essaim** d'insectes  $\equiv$  *swarm of insects* ..... *swarming*
- un **troupeau** de mammifères  $\equiv$  *herd of mammals* ..... *herd behavior*

Remarque : il y a évidemment l'équivalent en [en anglais](#) !

# Modèle de Craig Reynolds

Idée : – chaque individu peut observer ses voisins (à une distance limitée ou non)  
– chaque individu du groupe est identique (pas de leader)  
– le comporte de groupe « émerge »

Craig Reynolds propose 3 règles :

- se déplacer dans la même direction que ses voisins
- rester suffisamment proche de ses voisins
- éviter les collisions avec ses voisins



Remarque : « boid(s) » = *bird android(s)*

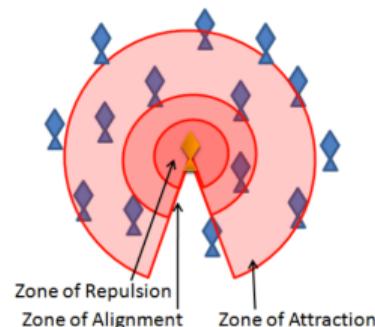
# Modèle de Craig Reynolds

On calcule :

- ① la direction moyenne des voisins situés dans la zone d'**alignement**
- ② la direction pour s'éloigner des voisins les plus proches (**répulsion**)
- ③ la direction pour se rapprocher des voisins les plus éloignés (**attraction**)
- ④ la nouvelle direction que l'individu doit prendre  
= moyenne des directions calculées en ① ② ③

**Remarque :** le choix des zones influe sur le comportement  
⇒ à régler à la main

**Exemple :** zone dirigée vers l'avant  
⇒ déplacement en file indienne



## Exemple avec des « particules » en python

Exemple avec des particules (pas orienté, pas de champ de vision) et en Python

```
#!/usr/bin/env python
# Boid implementation in Python using PyGame -- Ben Dowling

import sys, pygame, random, math

pygame.init()

size = width, height = 800, 600
black = 0, 0, 0

maxVelocity = 10
numBoids = 50

boids = []
```

## Exemple avec des « particules » en python

Définition de la classe Boid :

```
class Boid:  
    def __init__(self, x, y):  
        self.x = x  
        self.y = y  
        self.velocityX = random.randint(1, 10) / 10.0  
        self.velocityY = random.randint(1, 10) / 10.0  
  
    "Return the distance from another boid"  
    def distance(self, boid):  
        distX = self.x - boid.x  
        distY = self.y - boid.y  
        return math.sqrt(distX * distX + distY * distY)
```

... suite de la classe Boid, méthode d'attraction :

```
def moveCloser(self, boids):
    if len(boids) < 1: return
    # calculate the average distances from the other boids
    avgX = 0
    avgY = 0
    for boid in boids:
        if boid.x == self.x and boid.y == self.y:
            continue
        avgX += (self.x - boid.x)
        avgY += (self.y - boid.y)
    avgX /= len(boids)
    avgY /= len(boids)
    # set our velocity towards the others
    self.velocityX -= (avgX / 100)
    self.velocityY -= (avgY / 100)
```

... suite de la classe Boid, méthode d'alignement :

```
def moveWith(self, boids):
    if len(boids) < 1: return
    # calculate the average velocities of the other boids
    avgX = 0
    avgY = 0
    for boid in boids:
        avgX += boid.velocityX
        avgY += boid.velocityY
    avgX /= len(boids)
    avgY /= len(boids)
    # set our velocity towards the others
    self.velocityX += (avgX / 40)
    self.velocityY += (avgY / 40)
```

... suite de la classe Boid, début de la méthode **de répulsion** :

```
def moveAway(self, boids, minDistance):
    if len(boids) < 1: return
    distanceX = 0
    distanceY = 0
    numClose = 0
    for boid in boids:
        distance = self.distance(boid)
        if distance < minDistance:
            numClose += 1
            xdiff = (self.x - boid.x)
            ydiff = (self.y - boid.y)
            if xdiff >= 0: xdiff = math.sqrt(minDistance) - xdiff
            elif xdiff < 0: xdiff = -math.sqrt(minDistance) - xdiff
            if ydiff >= 0: ydiff = math.sqrt(minDistance) - ydiff
            elif ydiff < 0: ydiff = -math.sqrt(minDistance) - ydiff
            distanceX += xdiff
            distanceY += ydiff
```

... suite de la classe Boid, suite de la méthode de répulsion :

```
if numClose == 0:  
    return  
self.velocityX -= distanceX / 5  
self.velocityY -= distanceY / 5
```

... suite de la classe Boid, méthode déplacement proprement dit :

```
def move(self):  
    if abs(self.velocityX) > maxVelocity or \  
        abs(self.velocityY) > maxVelocity:  
  
        scaleFactor = maxVelocity / max(abs(self.velocityX), \  
                                         abs(self.velocityY))  
        self.velocityX *= scaleFactor  
        self.velocityY *= scaleFactor  
    self.x += self.velocityX  
    self.y += self.velocityY
```

Début du corps du programme, initialisation de l'environnement :

```
screen = pygame.display.set_mode(size)
ball = pygame.image.load("ball.png")
ballrect = ball.get_rect()
```

et création des boids :

```
# create boids at random positions

for i in range(numBoids):
    boids.append(Boid(random.randint(0, width), random.randint(0, height)))
```

## Début de la boucle principale :

```
while 1:  
    for event in pygame.event.get():  
        if event.type == pygame.QUIT: sys.exit()  
  
    for boid in boids:  
        closeBoids = []  
        for otherBoid in boids:  
            if otherBoid == boid: continue  
            distance = boid.distance(otherBoid)  
            if distance < 200:  
                closeBoids.append(otherBoid)  
  
        boid.moveCloser(closeBoids)  
        boid.moveWith(closeBoids)  
        boid.moveAway(closeBoids, 20)
```

... suite de la boucle principale, on est toujours dans le << for boid in boids >>,  
on s'assure qu'on est toujours dans l'espace de jeux puis on se déplace :

```
# if we roubound we can lose some of our velocity
border = 25
if boid.x < border and boid.velocityX < 0:
    boid.velocityX = -boid.velocityX * random.random()
if boid.x > width - border and boid.velocityX > 0:
    boid.velocityX = -boid.velocityX * random.random()
if boid.y < border and boid.velocityY < 0:
    boid.velocityY = -boid.velocityY * random.random()
if boid.y > height - border and boid.velocityY > 0:
    boid.velocityY = -boid.velocityY * random.random()

boid.move()
```

... fin du code de la boucle principale (le « while 1 ») et du programme,  
on nettoie l'écran et on redessine tous les boids,  
on attend un peu puis on boucle :

```
screen.fill(black)

for boid in boids:
    boidRect = pygame.Rect(ballrect)
    boidRect.x = boid.x
    boidRect.y = boid.y
    screen.blit(ball, boidRect)

pygame.display.flip()
pygame.time.delay(10)

# THE END
```

# Le Flocking en action !

À faire **mais pas à rendre :**

- ① testez le programme qu'on vient de voir (reçu par mail) : **boids\_balls.py**  
... jouez avec les paramètres...
- ② testez les programmes **curseboid.py** (console)  
et **glboid.py** (graphique)  
qui implémentent des **boids orientés**  
(depuis l'archive **optboid-master.zip** (reçue par mail))

Remarque : sous Ubuntu j'ai dû installer quelques packages :

- « `sudo apt-get install python-pygame` » pour **boids\_balls.py**
  - « `sudo pip install pyglet` » pour **glboid.py**
- mais ce sera probablement différent selon vos environnements respectifs !

# Le Flocking en action !

À faire et à rendre :

- ① ajouter des obstacles voire des murs dans le programme [boids\\_balls.py](#)
- ② ajouter une méthode pour que les boids aillent vers une cible
- ③ ajouter un participant contrôlé au clavier qui sera la cible !

# Le Flocking en action !

À faire et à rendre :

- ① ajouter des obstacles voire des murs dans le programme `boids_balls.py`
- ② ajouter une méthode pour que les boids aillent vers une cible
- ③ ajouter un participant contrôlé au clavier qui sera la cible !

Remarque : – faire simple!!!!

- les boids doivent (au moins essayer) d'éviter les obstacles,  
pas les percuter de plein fouet !
- vous pouvez partir de `curseboid.py` ou `glboid.py`  
mais seulement si vous êtes sûrs de vous !
- vous pouvez partir d'un autre programme si vous n'aimez pas Python  
mais ça risque de vous prendre beaucoup (trop) de temps... .

## Exemple de programme python pour lire le clavier (1/2)

Pour vous aider : fonction Python pour déplacer une balle au pavé numérique :

```
# script clavier.py

from Tkinter import *

def touche(event):
    global X,Y
    k = event.keysym
    decX = 20 if k in ['KP_1', 'KP_4', 'KP_7'] else 0
    incX = 20 if k in ['KP_3', 'KP_6', 'KP_9'] else 0
    decY = 20 if k in ['KP_7', 'KP_8', 'KP_9'] else 0
    incY = 20 if k in ['KP_1', 'KP_2', 'KP_3'] else 0
    X += incX - decX
    Y += incY - decY
    Canevas.coords(balle, X-10, Y-10, X+10, Y+10) # on redessine la balle
```

## Exemple de programme python pour lire le clavier (1/2)

... et le programme principal qui va avec :

```
Mafenetre = Tk()
Mafenetre.title('Lecture du clavier pour bouger une balle')
L = 800
H = 600
X = L / 2
Y = H / 2
Canevas = Canvas(Mafenetre, width = L, height = H, bg ='white')
balle = Canevas.create_oval(X-10,Y-10,X+10,Y+10, width=2, fill='blue')
Canevas.focus_set()
Canevas.bind('<Key>', touche)
Canevas.pack()

Mafenetre.mainloop()
```

# Exemple de programme python pour lire le clavier... avec pygame

Hélas c'est différent avec pygame (les joies du Python), voilà :

```
import pygame
from pygame import *

pygame.init()
pygame.display.set_mode((800, 600))
boucle = True
while True :
    for event in pygame.event.get():
        if event.type==KEYDOWN :
            print event.key
            if event.key==K_RETURN :
                boucle = False
```

→ les touches 1 à 9 du pavé numérique renvoient les valeurs 257 à 265.