

DECOUVERTE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AVEC LE ROBOT ALPHAI

Ce TP a pour objectif de faire comprendre comment une machine (un robot, ou un programme d'une manière plus général) est capable d'apprendre « par elle-même », c'est ce qu'on appelle le **machine learning**.

Nous allons découvrir en particulier l'**apprentissage par renforcement** et les **réseaux de neurones artificiels**.

INSTALLATION DU LOGICIEL

Au besoin, installez le logiciel depuis <https://learningrobots.ai/downloads/software>

Vous aurez besoin d'une clé d'activation de licence qui vous sera communiquée.

CREER SOI-MEME DES CONNEXIONS POUR PROGRAMMER LE COMPORTEMENT DU ROBOT.

Dans cette première partie nous allons voir comment un mini réseau de neurones artificiels permet de prendre des décisions d'action en fonction des données capteurs. Pour l'instant il n'y a pas d'apprentissage automatique : c'est *vous* qui allez créer les connections appropriées à l'intérieur du réseau de neurones, pour obtenir le maximum de récompenses.



OBJECTIF : Créer les bonnes connexions pour maximiser les récompenses et le niveau du robot.

ETAPES :

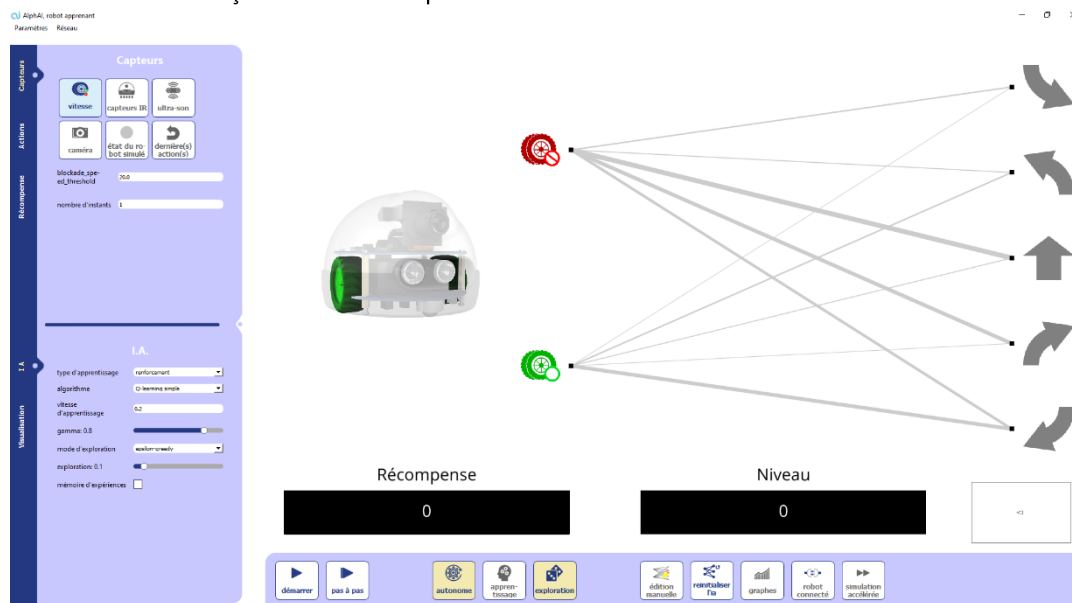
1. Allumez un robot, notez son numéro au-dessous. Au bout de 30 secondes il vibre pour indiquer qu'il est prêt. Il émet alors un réseau Wifi avec le même numéro. Connectez-vous à ce réseau Wifi depuis l'ordinateur : le mot de passe est identique au nom du réseau (par exemple ALPHAI-000123).
2. Lancer le programme : vous observez à gauche et en bas la partie contrôle (en bleu), à droite la partie visualisation (en blanc)

3. Appuyez sur le bouton « DEMARRER »  : vous voyez un petit robot de simulation avancer en bas à

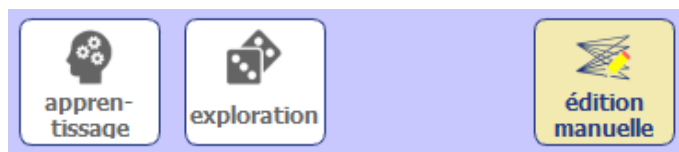
droite. Pour contrôler le vrai robot, il faut cliquer le bouton « CONNEXION »  après avoir stoppé le

robot simulé. Vous voyez apparaître son niveau de batterie . Vous pouvez essayer de le faire rouler quelques secondes.

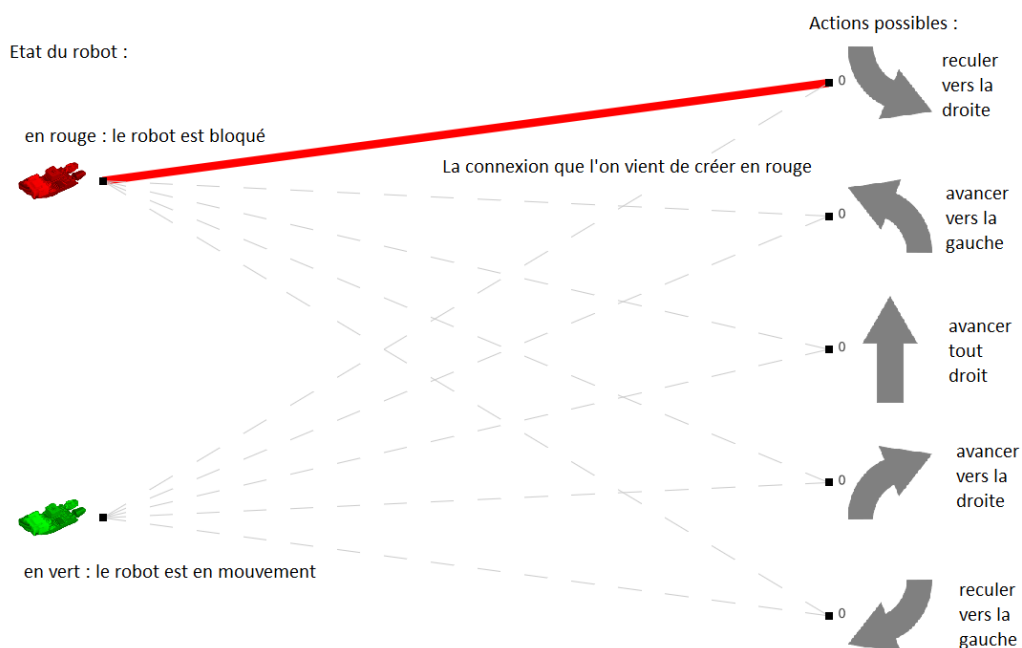
4. Maintenant commençons ! C'est vous qui allez créer les connexions dans son réseau de neurones :



Désactivez « APPRENTISSAGE » et « EXPLORATION », activez « EDITION MANUELLE SIMPLE »



5. Vous avez devant vous une représentation des connexions dans le réseau de neurones artificiels. Ce réseau a 7 neurones : 2 neurones d'entrée et 5 neurones d'action.



6. Si vous survolez avec la souris les connexions en pointillés, vous pourrez alors cliquer afin de **créer une nouvelle connexion**. Ces connexions vont transmettre l'activité des neurones d'entrée vers les sorties ; elles correspondent donc à la sélection d'une action (sur la droite) lorsque le robot se trouve dans un état en

particulier (sur la gauche). Dans l'exemple, la connexion créée, va permettre au robot de choisir de **reculer vers la droite** lorsqu'il est bloqué.

- Démarrez le robot : le neurone vert « je ne suis pas bloqué » s'allume, et allumera une action dès lorsque vous aurez créé une connexion : A vous de jouer donc, créez les bonnes connexions pour permettre au robot **de récupérer le maximum de récompenses**. Un indice : les récompenses sont calculées comme la vitesse en avant du robot, mais une punition s'il est bloqué ou va en arrière...



- Observez la valeur du niveau : il indique la moyenne des récompenses reçues au cours des 2 dernières minutes. Notez la valeur qu'il atteint : nous allons comparer avec le niveau que le robot peut atteindre lorsqu'il apprend par lui-même !

OBSERVER COMMENT LE ROBOT APPREND PAR LUI-MEME.

Maintenant que vous avez compris comment le robot a la possibilité de « choisir » ses actions (grâce aux connexions), nous allons voir comment le robot est capable d'apprendre quelles sont les bonnes actions à choisir ! (toujours dans l'objectif de maximiser ses récompenses)

OBJECTIF : Activer les bons paramètres pour permettre au robot d'apprendre quelles sont les meilleures actions.

ETAPES « ROBOT PILOTÉ » :

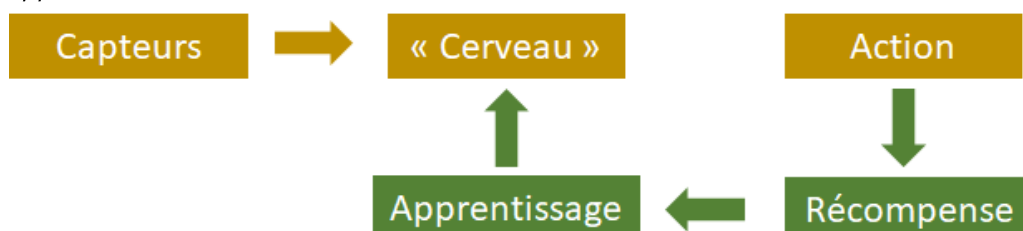
- Désactivez « EDITION MANUELLE » et à la place activez « APPRENTISSAGE », puis cliquez « REINITIALISER I.A. » : cela met des connexions au hasard.



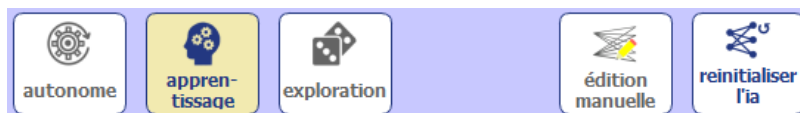
- Dans l'onglet « Visualisation », activez l'affichage « VALEUR DES CONNEXIONS » , de petits numéros s'affichent au-dessus des connexions. On voit que l'épaisseur des traits symbolise la « force » des connexions. Sauriez-vous expliquer pourquoi les connexions affichées ne sont pas « bonnes » et devront être « améliorées » durant l'apprentissage ?

ARRET DES CORRECTIONS ICI

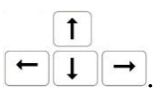
- Pour commencer c'est *vous* qui allez piloter le robot, ce n'est pas lui qui va choisir ses actions, il va seulement *apprendre*.



Pour cela désactivez « AUTONOME ».



4. Cliquez **DEMARRER**. Le robot attend que vous le pilotiez ! Vous pouvez le faire en cliquant sur les flèches de

l'interface  ou en utilisant les flèches du clavier .

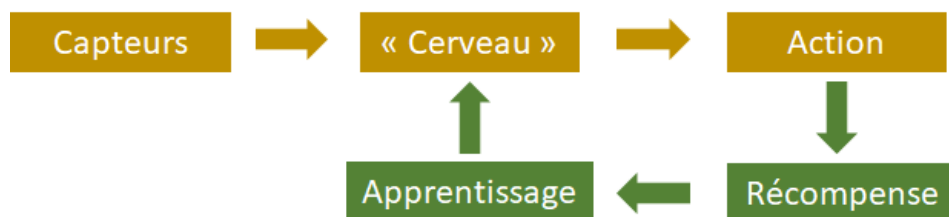
5. Observez attentivement l'épaisseur des connexions et les chiffres qui se situent à côté des actions possibles ; à votre avis, à quoi sert ce chiffre ? que signifie-t-il ? pourquoi évolue-t-il ? comment évolue-t-il ? Quel peut être le calcul qui est derrière ?



Appelez-nous pour nous faire part de vos réflexions ! Un indice : il indique le résultat de l'**apprentissage**...

6. Lorsque vous pensez que l'apprentissage est terminé, désactivez « APPRENTISSAGE » pour l'arrêter et réactivez « AUTONOME » pour que le robot se conduise tout seul : se comporte-t-il comme attendu ? Si ce n'est pas le cas, réactivez l'apprentissage pour le faire apprendre un peu mieux...

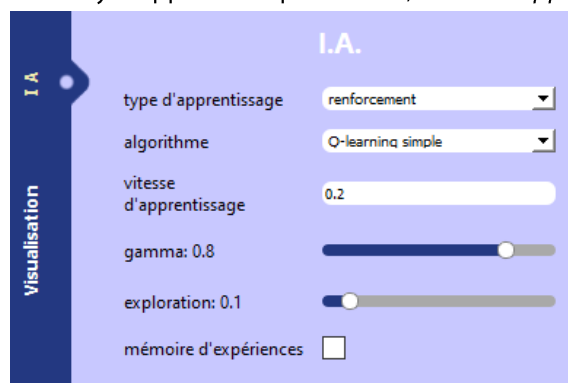
ETAPES « ROBOT AUTONOME » :



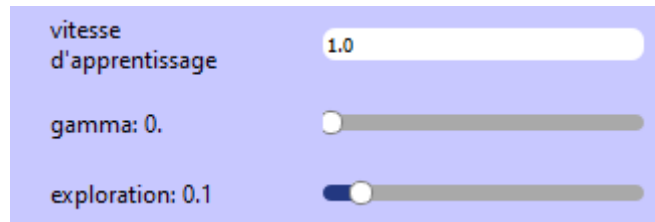
7. Recommencez l'apprentissage cette fois-ci avec le robot qui choisit ses actions par lui-même (appuyez sur « REINITIALISER I.A. », vérifiez que « AUTONOME » est activé, cliquez **DEMARRER**). Qu'observez-vous ? Le robot apprend-il correctement ? Que peut-il manquer ?
8. A présent activez également « **EXPLORATION** » et observez comment se passe l'apprentissage. Que fait ce paramètre ? Appelez-nous pour nous faire part de vos réflexions.

COMPRENDRE TOUS LES DETAILS MATHEMATIQUES DE L'APPRENTISSAGE :

9. Vous avez observé que l'apprentissage modifie les connexions dans le réseau de neurone. Continuez les étapes suivantes pour en comprendre tous les détails et arriver à l'équation . Vous pouvez également sauter directement à la partie III pour commencer les apprentissages avec caméra et revenir à cette étape à la fin s'il vous reste du temps.
10. Affichez l'onglet « I.A. » : vous voyez apparaître 3 paramètres, *vitesse d'apprentissage*, *gamma* et *exploration*.



11. Le paramètre *exploration* représente la fréquence des explorations : variez-le entre 0 et 1 et observez l'effet sur le comportement du robot. Vous semble-t-il que la valeur initiale de 0.1 était correcte ?
12. A présent revenons à quelque chose de plus simple : mettez vitesse d'apprentissage à 1 et gamma à 0.



Cela revient après qu'on a fait une action a_t à partir de l'état s_t à remplacer la connexion entre s_t et a_t par la récompense reçue r_{t+1} .

$$Q(s_t, a_t) = r_{t+1}$$

Essayez un apprentissage avec ces valeurs des paramètres. Que se passe-t-il ?

13. Pour éviter des fluctuations trop forte des connexions sans jamais converger vers une valeur stable, diminuez la vitesse d'apprentissage. L'équation des apprentissages devient alors (α est le paramètre "vitesse d'apprentissage").

$$Q(s_t, a_t) += \alpha(r_{t+1} - Q(s_t, a_t))$$

Obtient-on de meilleurs apprentissages ? Voyez-vous quelque chose qui manque encore ?

14. Pour permettre au réseau de neurones d'apprendre que quand le robot est bloqué l'action « se retourner » est meilleure que les actions « tout droit » ou « tourner », il faut intégrer dans la valeur des actions la qualité du nouvel état dans lequel on arrive (ici, bloqué ou non bloqué). C'est ce que permet de faire le paramètre gamma. L'équation complète de l'apprentissage devient :

$$Q(s_t, a_t) += \alpha \left(\left((1 - \gamma)r_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}) \right) - Q(s_t, a_t) \right)$$

Appelez-nous pour nous demander de vous aider à la comprendre !

AJOUTER LA CAMERA POUR UN COMPORTEMENT PLUS COMPLEXE.

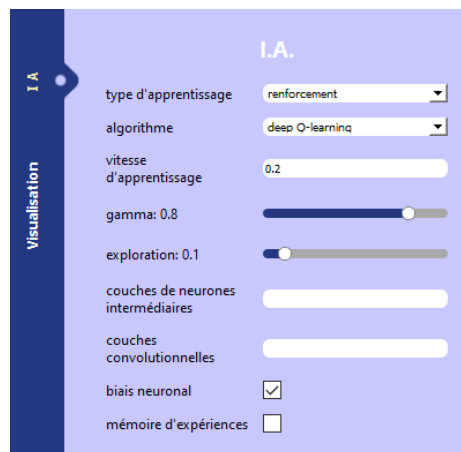
Maintenant que vous savez comment le robot adapte ses connexions pour aller choisir les actions les plus pertinentes, nous allons ajouter une caméra au robot pour qu'il puisse apprendre à anticiper les obstacles !

Mais attention, avant de pouvoir utiliser la caméra, il va falloir d'abord découvrir de nouveaux paramètres !

OBJECTIF : Etablir les paramètres corrects pour de bons apprentissages avec la caméra.

ETAPES « MEMOIRE D'EXPERIENCE » :

1. Dans l'onglet « I.A. » changez l'algorithme pour mettre « deep Q-learning », cela va permettre d'utiliser des réseaux de neurones multi-couches et d'activer de nouveaux paramètres.

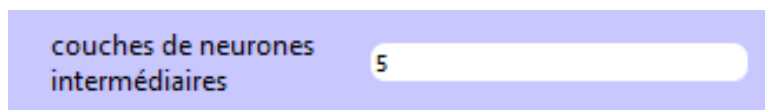


Lancez un nouvel apprentissage : vous constaterez que les connexions et les valeurs des actions peuvent cette fois être positives *ou négatives*. Vérifiez qu'un premier apprentissage se déroule bien.

2. Activez l'option « mémoire d'expériences » et relancez l'apprentissage. Normalement il devrait être plus rapide !! En effet l'apprentissage est très accéléré car les connexions sont modifiées de nombreuses fois par seconde, non pas en fonction de la dernière action réalisée seulement, mais *de toutes les actions effectuées et récompenses reçues* jusqu'à présent. Il suffit donc de faire une exploration tout droit pour apprendre que aller tout droit est meilleur que tourner à gauche ou à droite.

ETAPES « NEURONES INTERMEDIAIRES » :

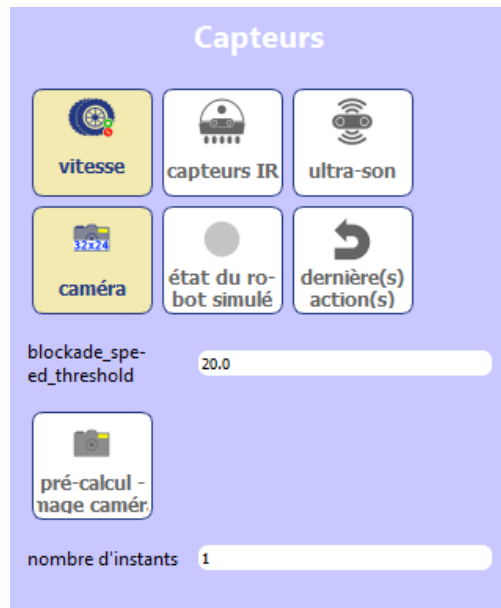
3. Ajoutez une couche de neurones intermédiaires et regardez ces nouveaux neurones et de nouvelles connexions apparaître dans l'interface !



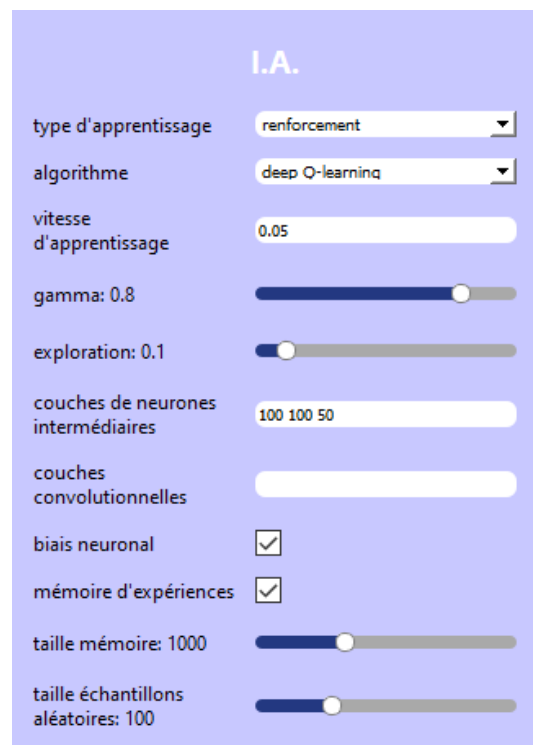
Relancez l'apprentissage. Comme précédemment l'algorithme d'apprentissage apprend les valeurs correctes des actions, mais le calcul de ces valeurs devient beaucoup plus complexe puisqu'il dépend d'un grand nombre de connexions. Appelez-nous pour en discuter avec nous.

ETAPES « CAMERA » :

4. Enfin ! Vous pouvez activer la caméra ; choisissez la taille 16x12 ou 32x24.



Et voici les réglages que nous vous conseillons pour l'IA : vous pourrez aussi en essayer d'autres !



5. Lancez avec **DEMARRER** et observez l'apprentissage du robot : normalement il apprend successivement à aller tout droit, à se retourner quand il cogne dans un obstacle, puis à reconnaître ces obstacles à l'avance et tourner avant de cogner dedans ! Cet apprentissage prend à peu près 10 minutes. Jouez avec les options de visualisation pour voir séparément les connexions dans le réseau de neurone, ses activités, ses apprentissages...

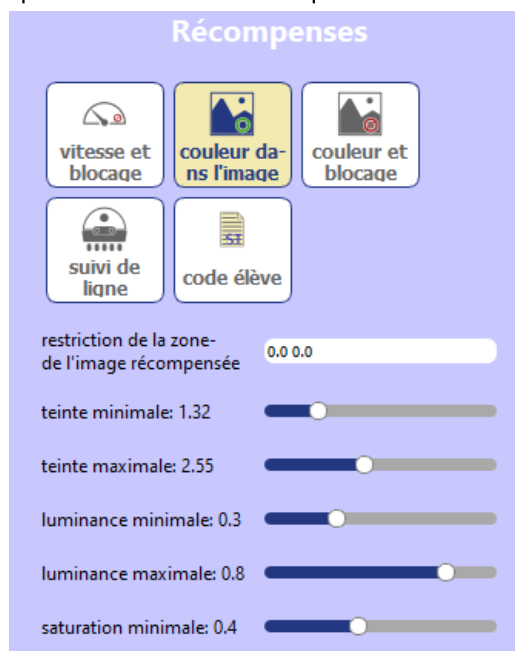
FAIRE JOUER ALPHAI AU FOOT !

Vous vous rappelez que le but du robot est d'obtenir le maximum de **récompenses**. Si nous modifions comment ces récompenses sont calculées, nous pouvons lui faire apprendre quelque chose de tout à fait différent !

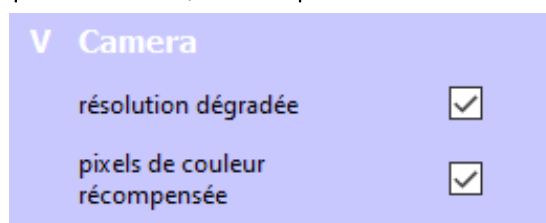
OBJECTIF : Faire apprendre au robot à pousser un ballon vert.

ETAPES :

1. Gardez les paramètres qui ont marché pour l'apprentissage précédent avec la caméra, et ne modifiez que le mode de calcul de la récompense ! Voici les réglages pour récompenser le robot lorsqu'il avance vers le ballon vert : le principe est qu'on détecte combien de pixels sont vert dans l'image de la caméra.



2. Pour voir les pixels récompensés à l'écran, cocher « pixels de couleur récompensée »



3. Il sera utile également de diminuer « temps boucle » pour rendre le robot plus réactif (avec 0.25 il prendra 4 décisions par seconde au lieu de 2)



4. Vous êtes prêt ! Mettez un ballon vert dans l'arène et lancez l'apprentissage ! Cet apprentissage prend un peu plus de temps, le robot apprend d'abord à suivre le ballon lorsque celui-ci est proche, il met plus de temps à le reconnaître de loin.
5. Il peut arriver que les pixels verts dans l'image ne soient pas bien détectés. Dans ce cas :
 - a. stoppez le robot,
 - b. réglez les « actions possibles » dans les paramètres à « stop ».
 - c. Positionnez le robot face au ballon vert.
 - d. Démarrer le robot ! (Le robot ne va pas bouger cependant)
 - e. Appelez-nous pour vous aider à régler les paramètres pour la récompense de la couleur
6. Vous êtes arrivés ici ? Vous pouvez relancer de nouveaux apprentissages en modifiant les paramètres que vous avez appris !

CONCLUSION

Récapitulons quelques notions que vous avez appris :

- Ce qu'on appelle « Intelligence Artificielle » est en fait mal défini, plus qu'une *méthode*, c'est un *projet* : celui de reproduire l'intelligence biologique !
- Les grands progrès récents concernent l'*Apprentissage Machine* (en anglais, *Machine Learning*) : nous avons découvert cela de près aujourd'hui !
- La méthode souvent la plus efficace est l'utilisation de *réseaux de neurones artificiels* qui copient l'activité et les apprentissages des neurones dans notre propre cerveau !! Plus précisément il s'agit d'augmenter et diminuer les bonnes *connexions* entre les neurones artificiels.
- Par conséquence certaines idées de ces algorithmes renvoient à nos propres apprentissages ! Essais et erreurs ; Curiosité ; Temps d'apprentissage, Répétition et Apprentissage pendant le repos ; etc.
- Tout cela s'appuie sur des équations mathématiques rigoureuses. Les chercheurs en Intelligence Artificielle doivent être particulièrement qualifiés en *statistiques*, mais aussi en *programmation* et en ayant un *bon sens intuitif*.