

Les réseaux de neurones composés d'une simple couche représentent la topologie la plus simple. Afin d'augmenter la complexité des algorithmes, il est donc nécessaire d'élargir la topologie du réseau. Ainsi, les techniques d'apprentissage profond se déploient en présence de milliers ou de millions de neurones.

### Les topologies multicouches

La nécessité d'une topologie multicouche émerge du fait qu'une seule couche de neurones peut uniquement établir **une relation monotonique entre les entrées et les sorties**. En d'autres termes, la fonction représentée par une seule couche est une courbe qui « monte » ou « descend » constamment dans l'intervalle des entrées. Par exemple, nous pouvons associer les entrées d'un capteur à un réseau monocouche afin d'augmenter ou de diminuer la vitesse d'un moteur lorsque le signal du capteur augmente. Néanmoins, il n'est pas possible d'assurer deux tendances différentes avec ce type de réseau.

#### Exercice

Pour comprendre le mode de fonctionnement d'un réseau de neurones multicouche, nous le comparerons à un réseau monocouche. À cette fin, nous devons prendre en compte un vecteur d'entrées dont la plage est définie par l'intervalle  $[-2.0, 2.0]$  et un vecteur de poids défini dans l'intervalle  $[-1.0, 1.0]$ . La fonction d'activation à considérer dans cet exercice sera **une fonction de saturation**, limitant les valeurs en sortie des neurones à l'intervalle  $[-1.0, 1.0]$ .

1. Implantez le modèle illustré par la Fig. 1 avec  $w_1 = -0.5$ . Estimez les valeurs de la sortie  $y_1$  pour un vecteur d'entrée intégrant un incrément de 0.2 comme suit :  $x_1 = [-2.0, -1.8, \dots, 0.0, \dots, 1.8, 2.0]$ . Présentez un graphique de  $x_1$  par rapport à  $y_1$ .

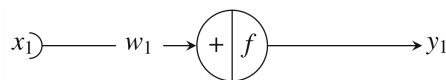


Fig. 1 : Modèle du neurone

2. Effectuez le tracé de l'exercice 1 pour 15 valeurs différents des poids  $w_1$ . Analysez et déterminez la relation entre les entrées et les sorties observées. Présentez le graphique ainsi que vos conclusions.
3. Implantez le modèle du réseau à deux couches illustré par la Fig. 2 en fixant les poids du réseau comme suit :  $w_{11} = 1$ ,  $w_{12} = 0.5$ ,  $w_{21} = 1$ ,  $w_{22} = -1$ .

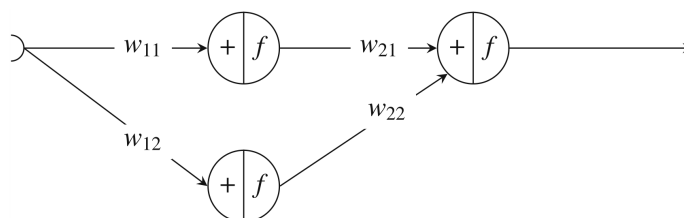


Fig. 2 : Modèle du réseau multicouche

Dans le but de confronter le modèle de la Fig. 2 à celui de la Fig. 1, réalisez un tracé des sorties des neurones de la couche cachée et celles de la couche de sortie par rapport aux valeurs en entrée,  $x_1$ . Analysez les résultats et tirez des conclusions.

## Exercice d'application robotique

4. Concevoir un réseau capable d'effectuer le comportement décrit ci-dessous en utilisant les mesures issues des deux capteurs situés devant le robot :

Si un objet est détecté par l'un des deux capteurs, le robot effectue un virage afin d'éviter l'obstacle. Attention, si l'objet est détecté par les deux capteurs, le robot devra reculer.

Rapportez la démarche suivie, le modèle proposé, les poids du réseau, et vos observations lors de la validation expérimentale. Pour rappel, une implantation vectorielle du réseau s'impose. Veuillez joindre au rapport une courte vidéo de démonstration.

En cas de blocage ou de difficultés à proposer un réseau adéquat, la Fig. [fig :Modèle-du-réseau-1] peut vous fournir une structure initiale.

En cas de blocage ou de difficultés à proposer un réseau adéquat, la Fig. 3 peut vous permettre d'avoir une structure initiale.

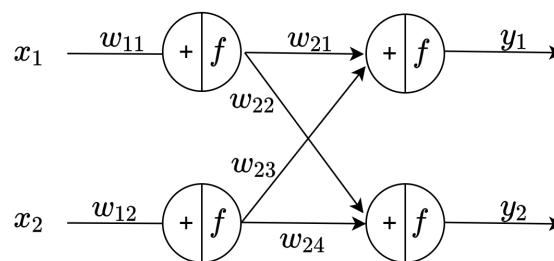


Fig. 3 : Modèle du réseau pouvant servir à l'évitement d'obstacles

## La mémoire : les réseaux récurrents

Les modèles et les topologies étudiées se caractérisent par la propagation de l'information à travers le réseau. Les sorties du réseau sont donc indépendantes du temps. Afin d'introduire une dépendance temporelle, il est nécessaire de définir des connexions récurrentes. Ainsi, les sorties d'un neurone peuvent constituer une entrée du réseau ou de lui-même. Les connexions récurrentes peuvent être utilisées pour implanter une mémoire au sein du réseau.

Un cas d'usage dans le cadre de la navigation robotique est l'évitement d'obstacles. En effet, les réseaux abordés au début du cours effectuent leur activation en présence des signaux en entrée confirmant la présence d'un obstacle. Ces actions sont arrêtées lorsque l'obstacle n'est plus détecté. Or, cette condition n'assure pas l'évitement complet de l'obstacle. Il est nécessaire de conserver dans le temps les actions évasives.

### Exercice

Mettons en œuvre ce type de réseaux et analysons-les.

5. Implantez le réseau illustré dans la Fig. 4. La fonction d'activation à considérer est une saturation dans l'intervalle  $[0, 1]$ . Le vecteur d'entrées est défini entre  $[0, 1]$  et les poids du réseau sont, pour la plupart, compris entre  $[0, 1]$ . Démontrez par un tracé, l'influence des poids de connexions récurrentes sur les sorties du réseau. Rapportez les résultats. Caractérisez deux cas d'usage :
  - (a) Si les poids des connexions récurrentes sont supérieurs à 1
  - (b) Si les poids des connexions récurrentes sont définis entre  $[0, 1]$ .

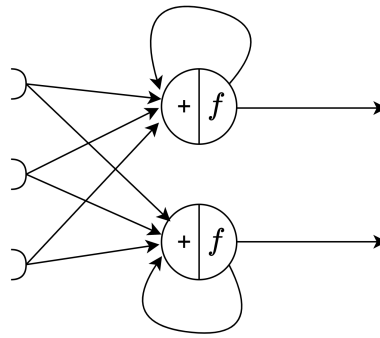


Fig. 4 : Modèle de réseau récurrent

### Exercice d'application robotique

6. Modifiez l'implantation du modèle illustré dans la Fig. 5, en rajoutant deux connexions récurrentes pour les neurones de sortie. Validez expérimentalement le comportement de ce nouveau réseau pour l'évitement d'obstacles. Rapportez cela en illustrant sur une vidéo le comportement avec et sans connexions récurrents ou à l'aide d'un tracé sur papier en mettant en évidence la trajectoire suivie par le robot.

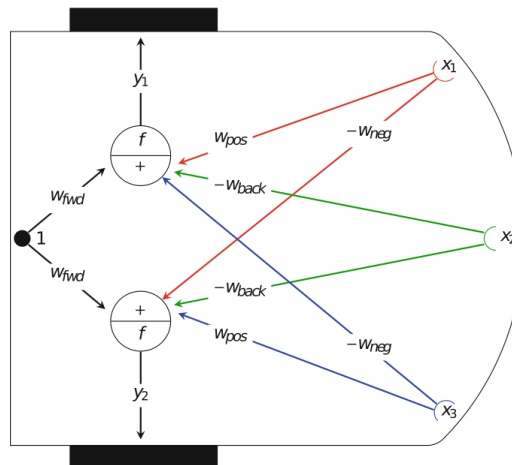


Fig. 5 : Modèle de réseau récurrent pour l'évitement d'obstacles

### Le filtre spatial

Certaines configurations du réseau de neurones permettent l'analyse d'une ou plusieurs patterns à partir des informations en entrée. Ces configurations supposent une relation spatiale de voisinage entre les entrées et l'adjacence des neurones dans le réseau. Ce type de filtre a traditionnellement été destiné à la détection de contours pour des applications dans le traitement d'image. En toute simplicité, un filtre spatial permettrait à un robot de faire la différence entre un obstacle ponctuel et un mur dans une application de navigation. Afin de valider ces concepts à l'expérimental, la démarche suivante est proposée.

#### Objectif :

Concevoir un réseau de neurones capable d'assurer le suivi d'un objet. Pour cela, il sera nécessaire de différencier un objet d'un obstacle, ex. un mur. Le réseau fera usage de 5 capteurs de proximité situés devant. La stratégie de navigation peut se synthétiser par :

- Si seulement un capteur détecte un objet, alors le robot tourne et s'oriente vers l'objet,
- si le capteur central détecte un objet, il avance droit et
- si l'ensemble de capteurs détectent simultanément un objet, alors le robot s'arrête ou recule.

Pour rappel, l'utilisation de conditions et de structures de contrôle dans le réseau de neurones est interdite.

## Exercice d'application robotique

7. Implantez le réseau de la Fig. 6 en respectant les poids proposés pour le réseau. Rapportez les sorties du réseau sur deux cas d'usage et analysez les résultats :

- Un objet est devant le robot
- Le robot est devant un mur

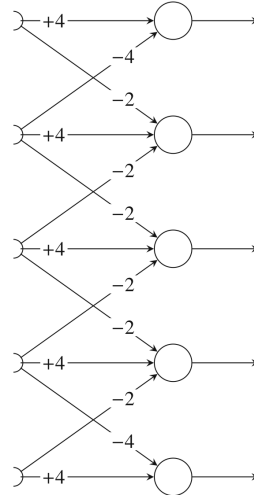


Fig. 6 : Filtre spatial

8. Déployez le réseau sur le robot Thymio en complétant le réseau comme celui illustré par la Fig. 7. On remarquera que le filtre spatial est la couche d'entrée du réseau. Une couche cachée et une couche en sortie complètent la structure. Il est nécessaire de préconiser l'utilisation d'une saturation  $[-1, 1]$  comme fonction d'activation. Validez et répondez aux questions :

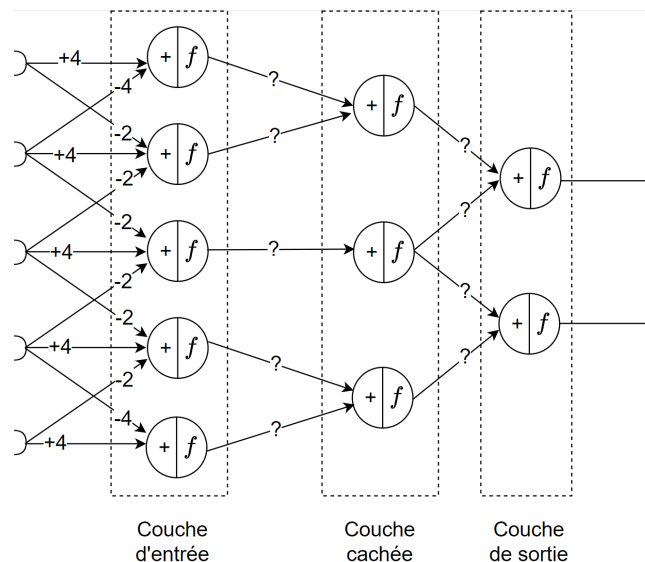


Fig. 7 : Modèle du réseau pour l'identification du type d'objet

- Indiquez l'assignation entre les sorties du réseau et les actionneurs (moteurs) du robot.
- Identifiez les poids de la couche cachée et la couche de sortie assurant le comportement objectif.
- Quel est le comportement adopté par le robot si un objet est détecté par deux capteurs adjacents?