

TD : **keras** & réseaux de neurones convolutionnels

Romain Tavenard

Les réseaux de neurones convolutionnels (*Convolutional Neural Networks*, CNN) sont des réseaux particuliers qui se basent sur l'opération de convolution.

1 Les CNN en bref

Prenons le cas, pour commencer, de la convolution 1D. Lorsque l'on applique un filtre de convolution K de taille k à un signal d'entrée I , on obtient en sortie un signal O tel que :

$$\forall t, O(t) = \sum_{a=0}^{k-1} I(t+a)K(a)$$

En fait, on devrait plutôt parler ici de *cross-correlation*, mais on utilise le terme convolution par abus de langage, et cet abus de langage est généralisé. On peut d'ores et déjà remarquer que la valeur du signal de sortie sera d'autant plus grande que le signal d'entrée sera aligné avec le filtre de convolution (si l'on suppose que les données d'entrée sont standardisées et que les effets d'échelle sont donc minimales). Ainsi, l'opération de convolution définie ici peut être vue comme une détection de la présence d'une sous-partie similaire au filtre de convolution dans le signal d'entrée.

On a donc ici une structure qui ressemble assez à une couche complètement connectée (*fully connected*, ou **Dense** selon la terminologie **keras**) d'un réseau de neurones, sauf que :

- le produit scalaire est calculé entre le filtre de convolution et **une partie (seulement)** du signal d'entrée ;
- dans la notation présentée plus haut, on n'a pas fait apparaître de fonction d'activation : en pratique, on en utilisera une, comme pour les couches complètement connectées.

En pratique, la taille du filtre de convolution utilisé sera petite devant celle du signal d'entrée, ce qui permettra de limiter le nombre de paramètres à apprendre

pour ces couches convolutionnelles. De plus, on aura tendance à coupler une couche convolutionnelle (qui permet donc de détecter la présence d'un motif) à une couche de *pooling* qui résume le résultat des détectations sur plusieurs temps consécutifs. On utilisera surtout le *Max-Pooling* qui consiste à ne retenir que la valeur maximale détectée sur un intervalle de temps donné.

L'illustration suivante représente une couche convolutionnelle (avec fonction d'activation linéaire pour simplifier les choses) suivie d'une couche de *max-pooling*.

3	2
---	---

Filtre de convolution

1	0	2	4	3
---	---	---	---	---

Signal d'entrée (1D)

3			
---	--	--	--

Sortie de la couche de convolution

--	--	--

Sortie de la couche de *max-pooling*

1.1 Cas des images

Dans le cas des applications liées aux images (par exemple pour de la classification d'images), on utilisera des filtres de convolution 2D :

$$\forall(x, y), O(x, y) = \sum_{a=0}^{k-1} \sum_{b=0}^{k-1} I(x+a, y+b) K(a, b)$$

Il faudra donc fournir, en entrée d'une couche de convolution 2D, une image et non plus un vecteur.

1.2 Visualisation des filtres appris

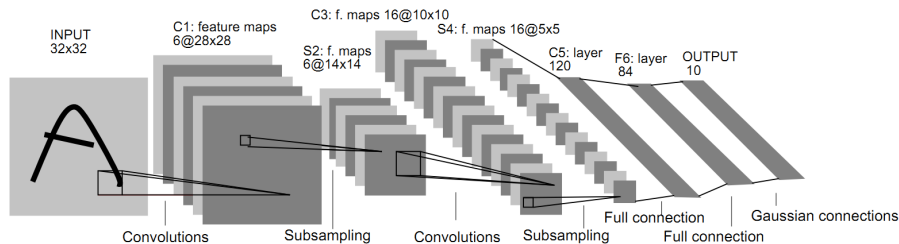
Comme expliqué plus haut, une couche convolutionnelle agit comme un détecteur de formes. Dans le cas des images, il est souvent intéressant de chercher à visualiser les formes qu'une telle couche peut détecter. Pour cela, il suffit de visualiser, sous forme d'imagettes, les poids des filtres de convolution (*c.f.* [Zeiler and Fergus, ECCV 2014]).

On s'aperçoit alors que bien souvent, comme illustré dans la Figure 2 du papier cité ci-dessus, les filtres des premières couches convolutionnelles apprennent des formes élémentaires (par exemple des bordures obliques) et que, plus on avance dans les couches du réseau, plus les formes apprises sont complexes (par exemple des visages humains).

1.3 Structure globale d'un réseau convolutionnel

En pratique un réseau de neurones convolutionnel sera bien souvent constitué d'au moins deux séries de convolution + *pooling* suivies d'une ou plusieurs couches complètement connectées.

Dans l'illustration ci-dessous, on voit l'exemple d'un des premiers réseaux convolutionnels à avoir été développé (par Yann LeCun, aujourd'hui directeur de *Facebook Artificial Intelligence Research*), appelé LeNet :



Dans la figure ci-dessus, le terme *Subsampling* désigne l'opération de *max-pooling* et le terme *Gaussian connections* signifie que la fonction d'activation utilisée est le *soft-max*. On peut notamment remarquer qu'à chaque couche de convolution, on n'apprend pas un mais plusieurs filtres de convolutions (ici 6 filtres à la première couche convolutionnelle et 16 filtres à la seconde).

1.4 Réutilisation d'un réseau pré-entraîné

En pratique, lorsque l'on vise une tâche de classification d'image, il est recommandé de ne pas ré-apprendre un réseau à partir de 0, mais de plutôt partir d'un réseau pré-appris (notamment par des équipes de recherche disposant de machines bien plus puissantes que celles dont vous disposez) et de n'effectuer

qu'une adaptation des dernières couches du réseau. En effet, comme pour les réseaux complètement connectés, les premières couches du réseaux doivent être vues comme des couches d'extraction de descriptions alors que les couches finales sont spécifiques au problème de classification visé. Ré-utiliser les premières couches revient donc à extraire une représentation discriminante des images alors que ré-apprendre les dernières couches du réseau (typiquement les couches complètement connectées) revient à n'apprendre que le classifieur adapté à son problème.

Pour trouver des modèles à utiliser en `keras`, vous pouvez par exemple jeter un oeil [ici](#) (ou utiliser les mots-clé "`keras model zoo`").

1.5 En pratique dans keras

Pour utiliser ce type de modèles dans `keras`, il faudra :

- se pencher sur la définition de couches convolutionnelles [\[doc\]](#) ;
- prendre garde à la dimension des données fournies en entrée au modèle car une couche convolutionnelle 2D s'attend à recevoir des données de dimension `(n_x, n_y, c)` où `n_x` est la dimension horizontale de l'image (en nombre de pixels), `n_y` est la dimension verticale de l'image et `c` son nombre de canaux (si l'image est en niveaux de gris, on aura `c=1`, si elle est en RVB, on aura `c=3`) ;
- jeter un oeil aux couches de type `Flatten` (à vous de deviner à quel moment elles pourraient vous être utiles).

2 Énoncé du devoir maison

Sans réutiliser de réseau pré-entraîné, mettez en oeuvre une méthode de sélection de modèle convolutionnel qui obtienne les meilleures performances possibles sur le jeu de données MNIST déjà vu en TD (qu'il faudra probablement retravailler pour que les données soient au bon format pour votre modèle). Comparez les performances de ce modèle à celles d'un modèle *fully connected* ayant un nombre équivalent de paramètres.