

## [TUTORIEL] Deep Learning : le Réseau neuronal convolutif (CNN)

26 janvier 2021

Modifié le 26 janvier 2021

Kévin VANCAPPEL



Partagez cet article   

Nous vous avons expliqué dans notre précédents articles [la descente de gradient et son utilisation dans la régression linéaire](#), [le fonctionnement et l'intérêt d'un réseau de neurones](#), mais aussi son [apprentissage](#), nous allons voir cette fois un réseau de neurones particulier appelé le réseau neuronal convolutif ou « réseau neuronal à convolution » (CNN – Convolution Neural Network). Ce type d'algorithme est particulièrement utilisé afin de classifier des images.



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



Cette image représente-elle un chien ou un chat ?

## Actions utilisées dans un CNN

Un CNN applique généralement 3 *types d'opérations* différentes à une image afin d'en extraire les informations pertinentes.

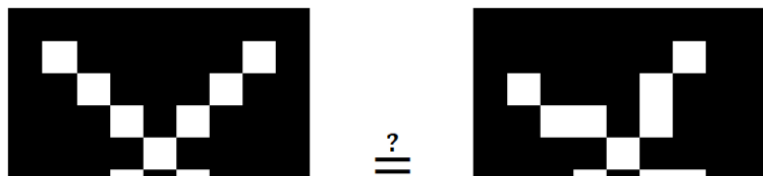
Ces 3 types d'opérations sont les suivantes :

- La *convolution*
- Le *pooling*
- La fonction d'activation de type ReLU

Nous allons nous intéresser à chacune de ses opérations.

## La convolution

Avant d'expliquer en détails ce qu'est une convolution, nous allons comparer ces 2 images.



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

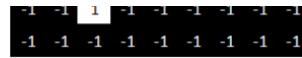
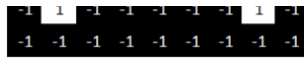
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

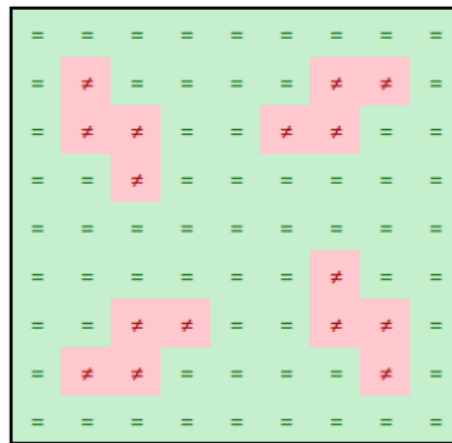
PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

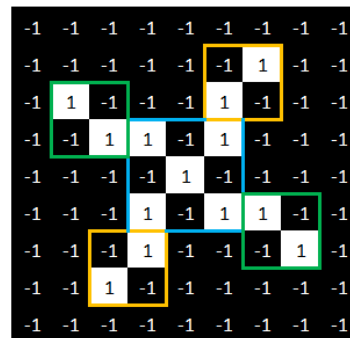
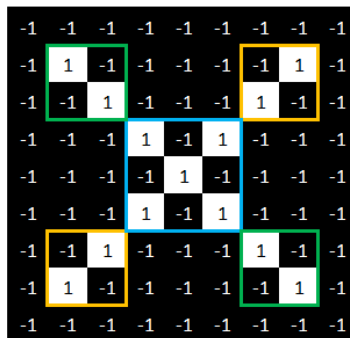
# le blog



En comparant *pixel par pixel*, nous voyons qu'il y a des pixels différents entre les 2 images.



Pourtant, certains *morceaux de l'image* sont identiques entre les 2 images.



Ces *morceaux* sont au nombre de 3.

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

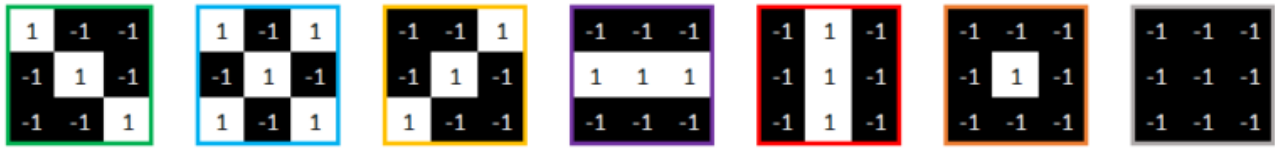
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

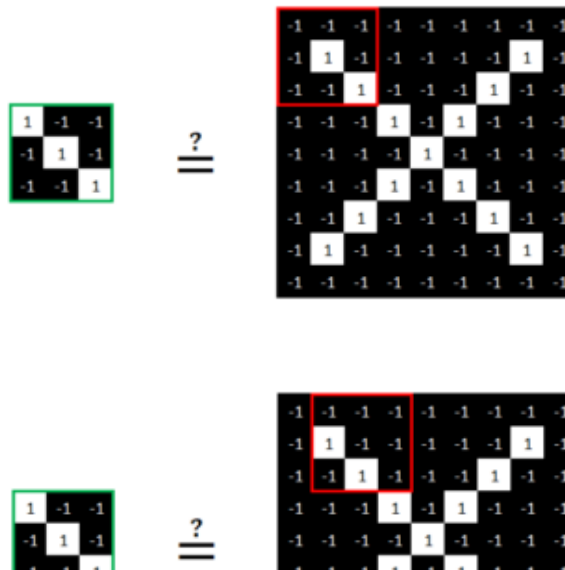
# le blog



Nous allons commencer par rechercher cette feature sur cette image.



Pour cela, nous allons comparer cette feature en la faisant « glisser » sur l'image comme suit :



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

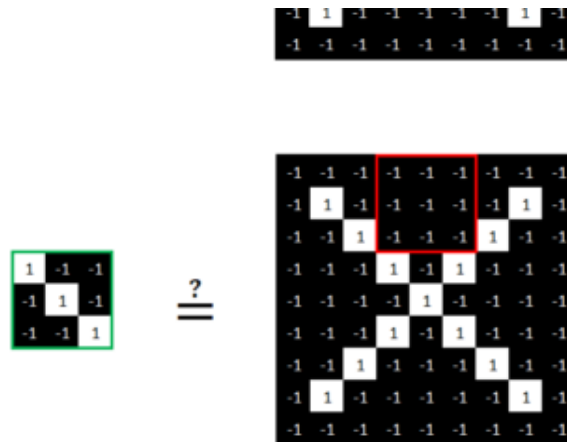
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog

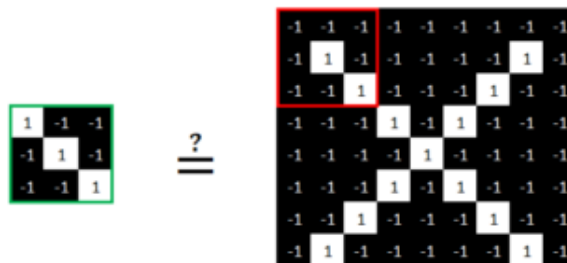


Etc.

Concrètement, pour comparer cette feature avec une partie de l'image, nous allons :

- 1/ multiplier les 9 valeurs des pixels de la caractéristique avec les 9 valeurs des pixels du morceau de l'image à trouver,
- 2/ additionner ces 9 résultats
- 3/ diviser par le nombre de pixels (ici 9)
- 4/ conclure (si le résultat est égal à 1, alors la feature a été identifiée dans l'image)

Voici un exemple :



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



-1	

-1	1

-1	1	1

-1	1	1
1	1	1
1	1	1

2/ Additionnons ces 9 résultats :

-1	1	1
1	1	1
1	1	1

$$>>> -1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7$$

3/ Divisons par le nombre de pixels :

$$7 / 9 = 0,78$$

4/ Concluons :

0,78 est différent de 1, alors la *caractéristique n'a pas été trouvée dans cette partie de l'image.*

Nous pouvons refaire ces calculs pour le reste de l'image.

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

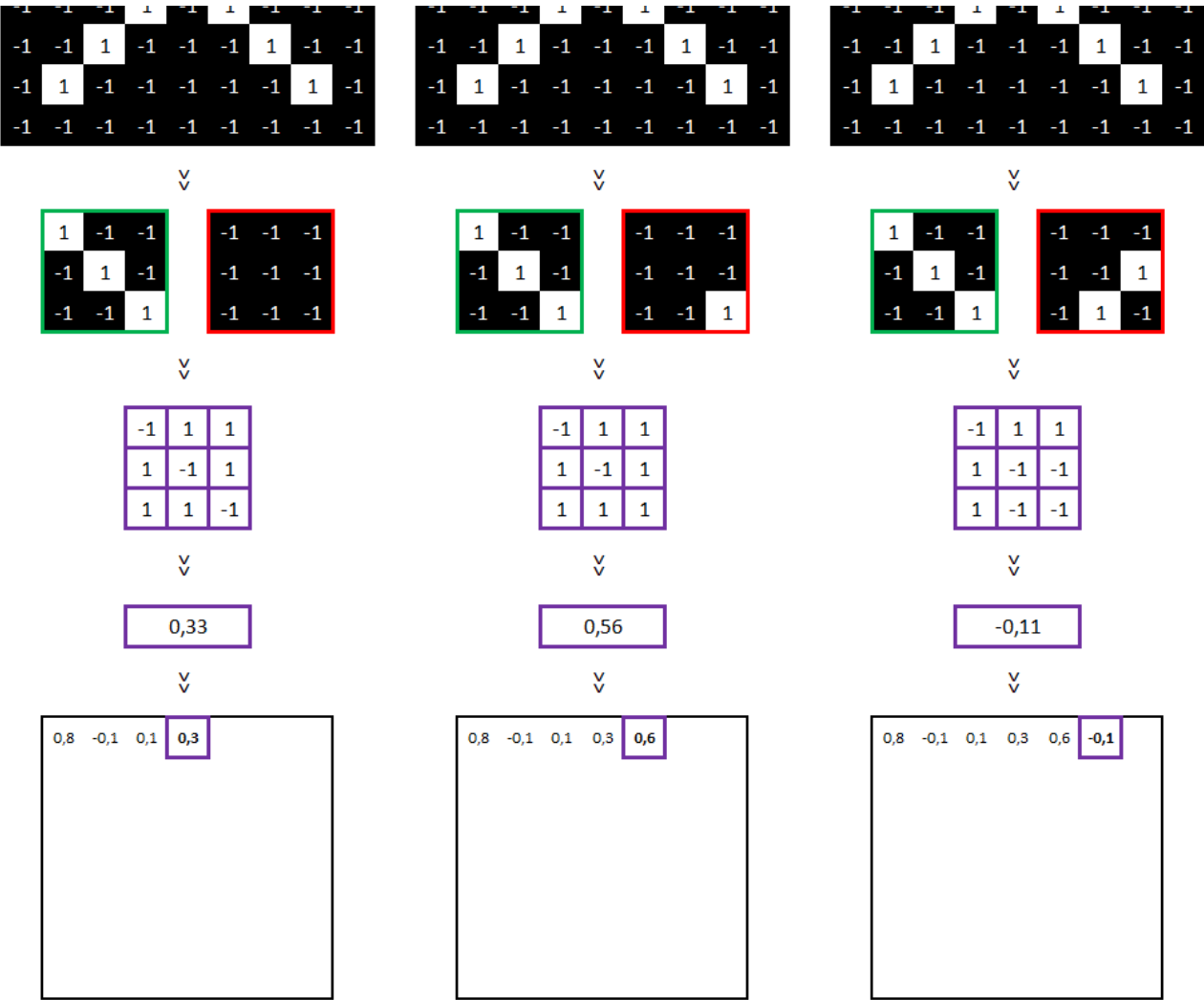
✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

[https://fr.blog.businessdecision.com/tutoriel-deep-learning-le-reseau-neuronal-convolutif-cnn/?doing\\_wp\\_cron=1641140661.18...](https://fr.blog.businessdecision.com/tutoriel-deep-learning-le-reseau-neuronal-convolutif-cnn/?doing_wp_cron=1641140661.18...) 7/32

le blog



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

☒ TOUT ACCEPTER    ☐ TOUT REFUSER    PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES





[https://fr.blog.businessdecision.com/tutoriel-deep-learning-le-reseau-neuronal-convolutif-cnn/?doing\\_wp\\_cron=1641140661.18...](https://fr.blog.businessdecision.com/tutoriel-deep-learning-le-reseau-neuronal-convolutif-cnn/?doing_wp_cron=1641140661.18...) 9/32

le blog



-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1
-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

∇

1	-1	-1
-1	1	-1
-1	-1	1

1	-1	-1
-1	1	-1
-1	-1	-1

∇

1	1	1
1	1	1
1	1	-1

∇

0,78
------

∇

0,8	-0,1	0,1	0,3	0,6	-0,1	0,3
-0,1	1,0	-0,1	0,3	-0,1	0,1	-0,1
0,1	-0,1	1,0	-0,3	0,1	-0,1	0,6
0,3	0,3	-0,3	0,6	-0,3	0,3	0,3

Business & Decision respecte votre vie privée.  
Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.  
Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

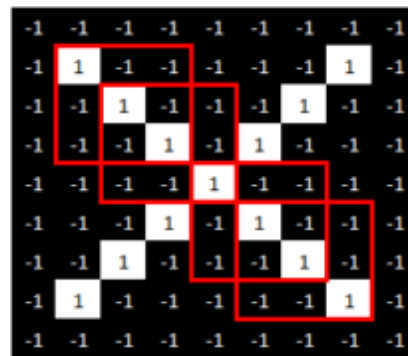
✓ TOUT ACCEPTER   ✗ TOUT REFUSER   PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

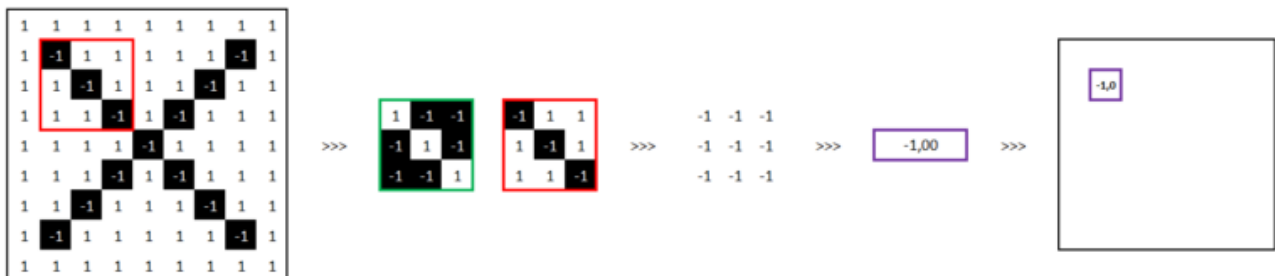
# le blog



Sur cette nouvelle matrice, on y voit nos features « diagonales haut gauche vers bas droit » (les cellules égales à 1, entourées de violet ci-dessus). Ce qui est tout à fait cohérent au regard de notre image initiale.



Cette méthode fonctionne également si l'on inverse les couleurs (le résultat sera seulement égal à -1 et non à 1).



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

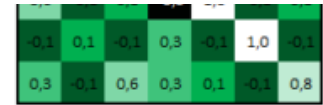
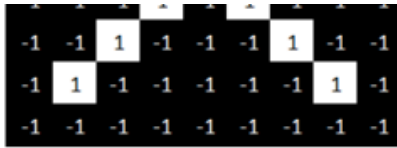
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

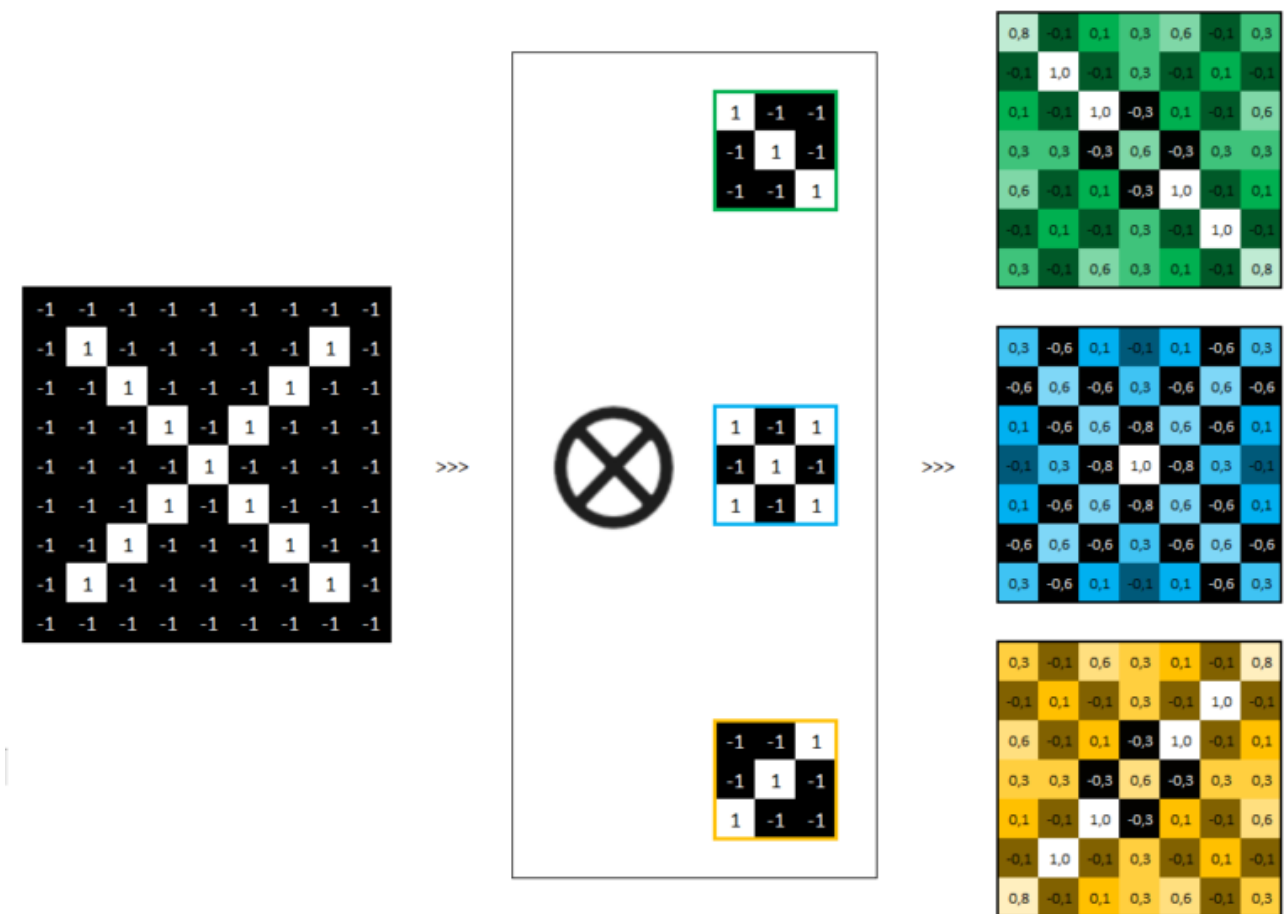
PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



En refaisant ce même travail avec 2 autres *features*, nous obtenons 3 convolutions que l'on peut schématiser de la manière suivante.



## La fonction ReLU (Unité de rectification linéaire)

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

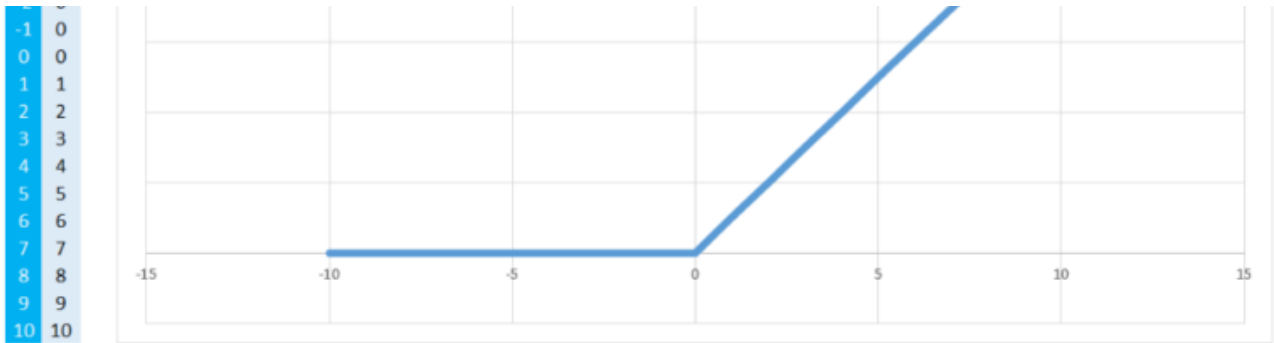
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

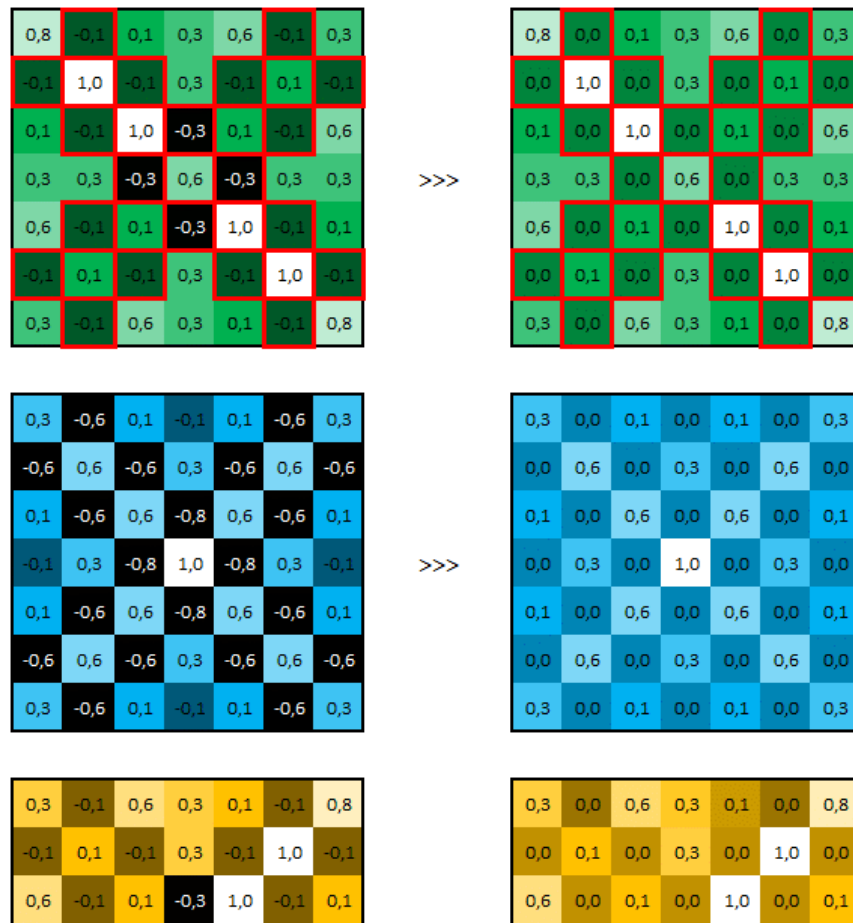
PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



Appliquée à nos 3 matrices précédemment calculées, voici ce que ça donne.



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

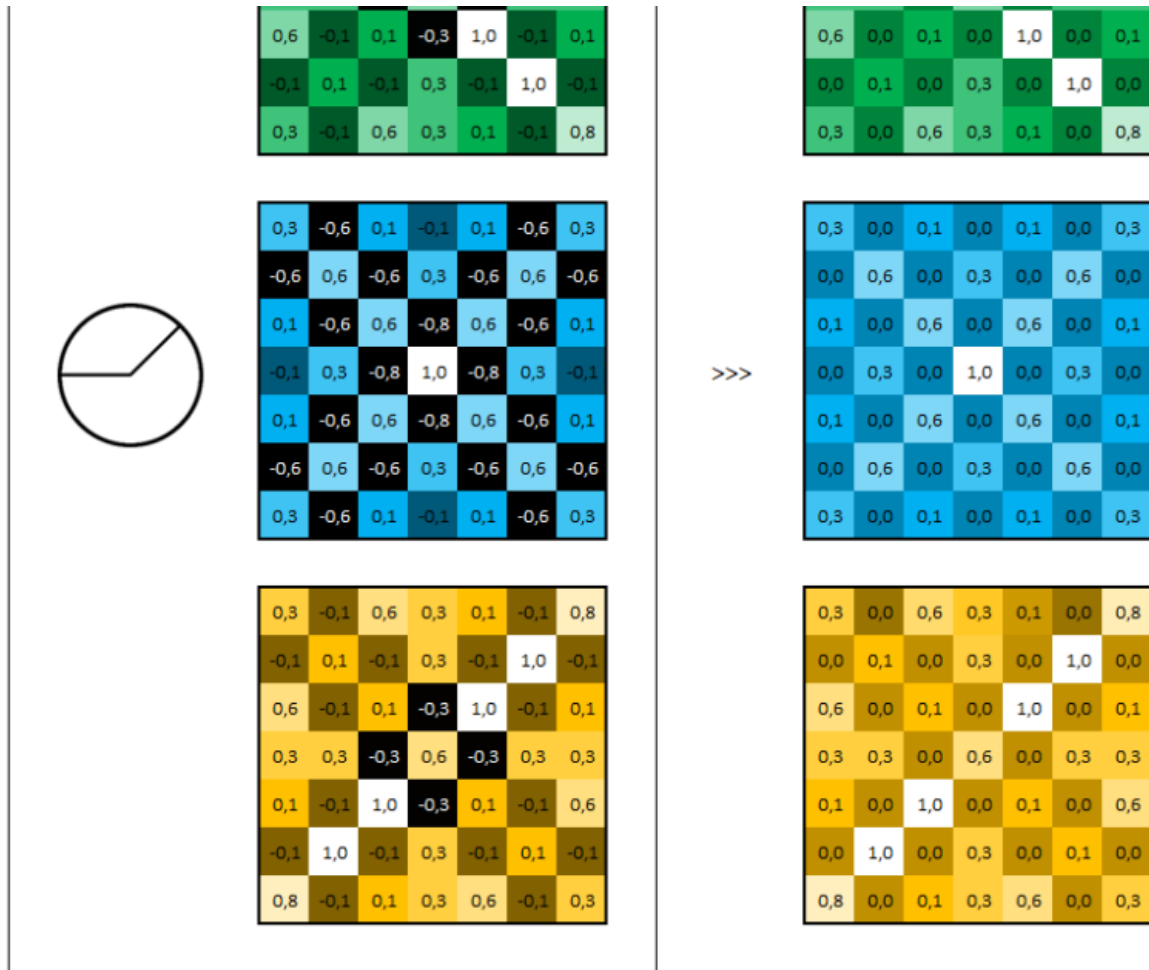
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



## Le pooling

2 techniques existent, le max-pooling ou le mean-pooling. Généralement, c'est le max-pooling qui est choisi.

Le max-pooling prend la valeur maximale de chaque « morceau de l'image ».



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

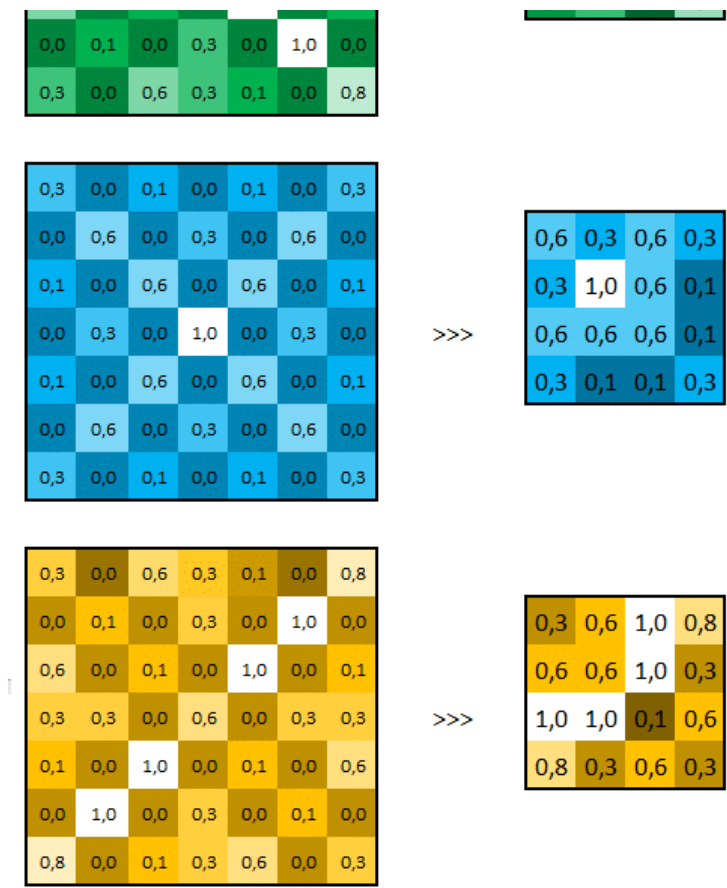
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

le blog



Pour information, les paramètres utilisés sont :  
taille = 2×2, stripe = 1, valeurs des cellules absentes = 0.

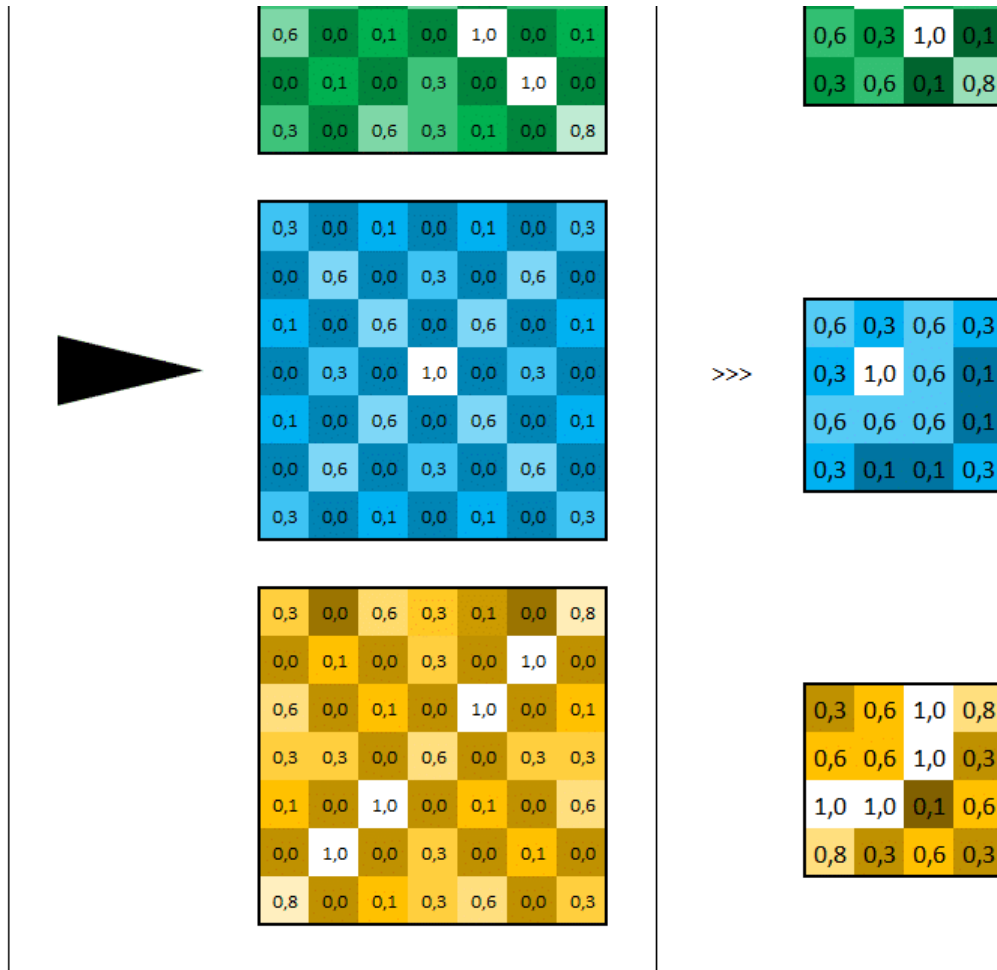
Nous pouvons représenter ces actions de la manière suivante.

Business & Decision respecte votre vie privée.  
Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.  
Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER    ✗ TOUT REFUSER    PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

le blog



## Le flattening (mise à plat)

Cela consiste tout simplement à prendre la totalité des valeurs de nos matrices précédemment calculées, et à les empiler, en vue de les exploiter dans la couche d'entrée d'un réseau de neurones.

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

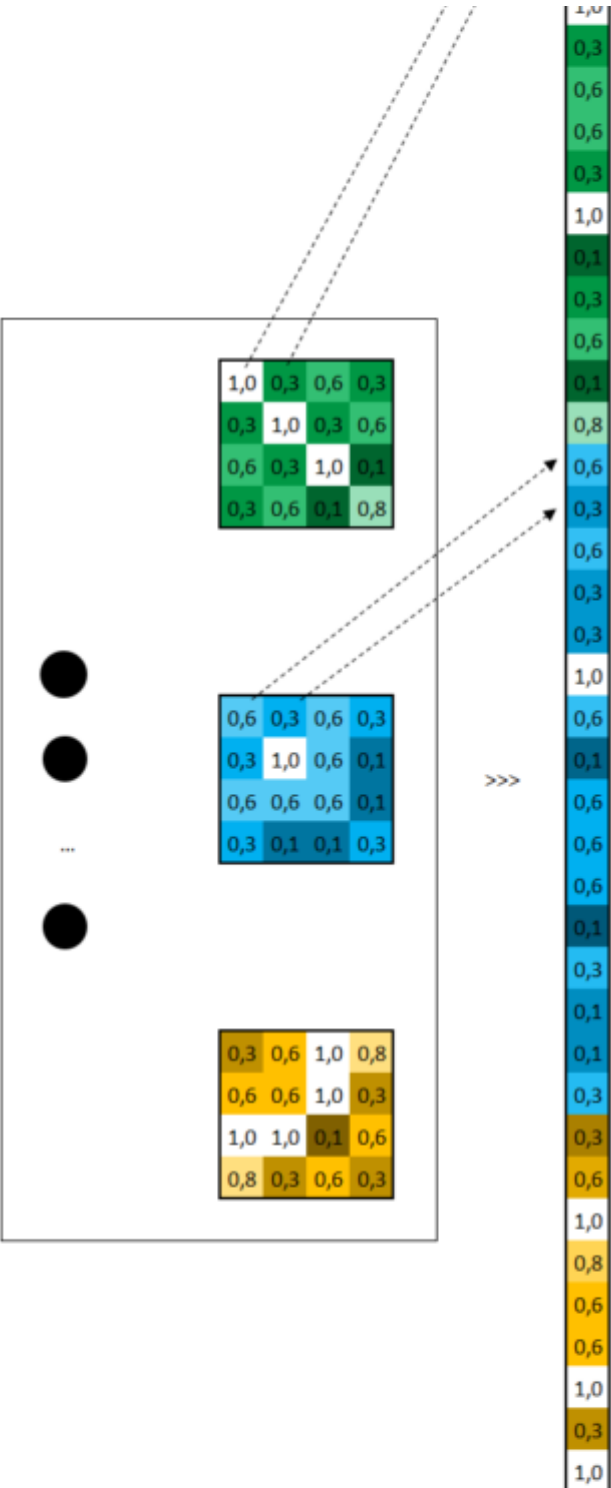
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES





Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

# le blog



sortie le nombre de neurones adéquats (ex. 2 neurones si nous souhaitons que notre réseau prédise la probabilité que l'image appartienne à la classe 1 ou à la classe 2).

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

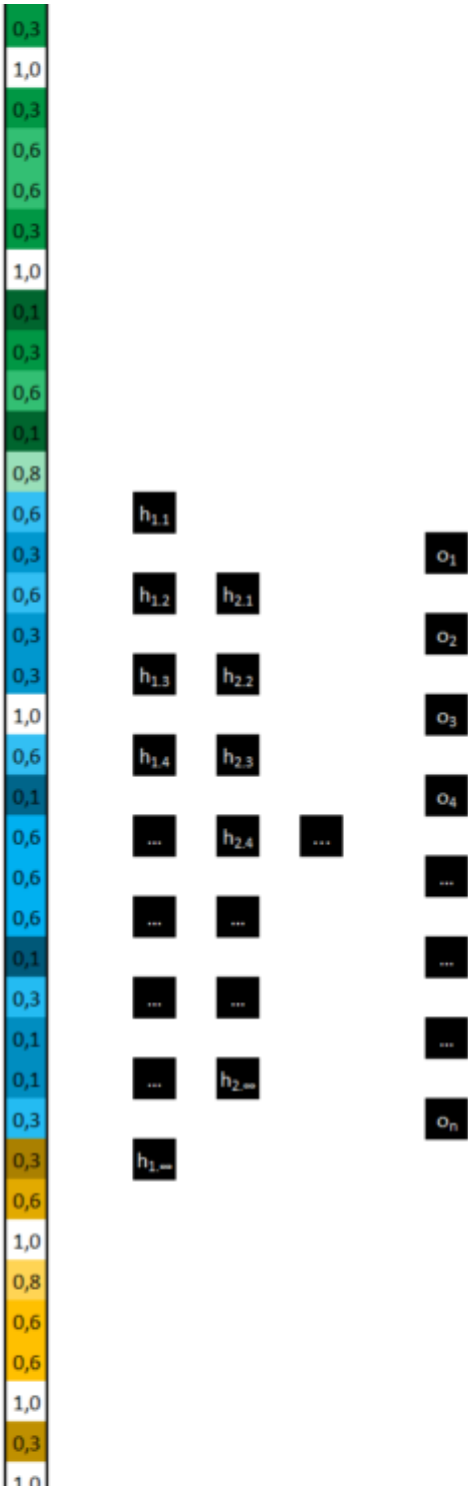
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog

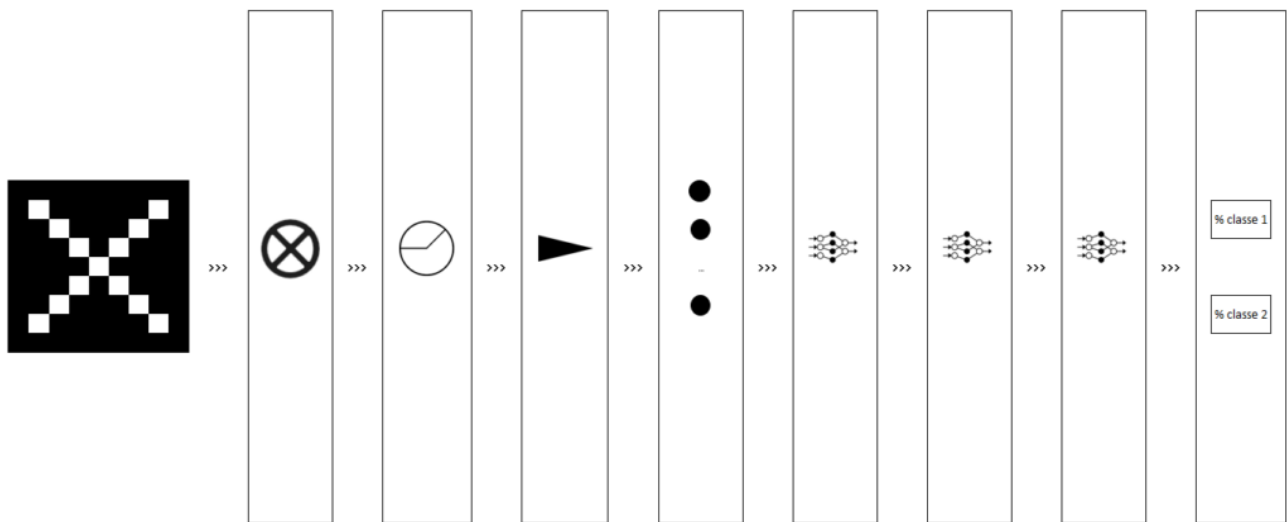


Business & Decision respecte votre vie privée.  
Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.  
Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER    ✗ TOUT REFUSER    PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

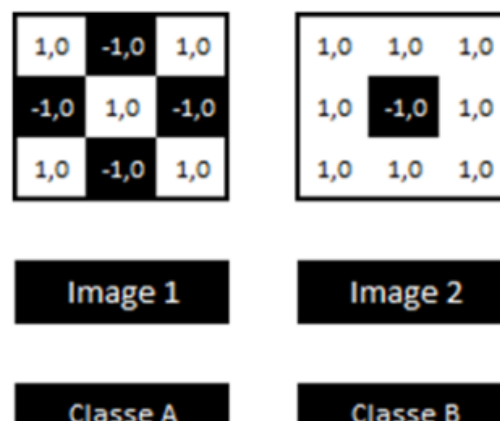
# le blog



## Apprentissage d'un CNN

### Notre dataset

Pour la suite de cet article, nous allons utiliser ces 2 images (respectivement une croix et un rond), mettre en place un CNN, puis l'entraîner afin qu'il minimise la fonction coût. Ce cas d'usage est pédagogique, dans la réalité, il n'aurait aucun intérêt à classer 2 images dont on connaît le label (càd ce qu'elles représentent).



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

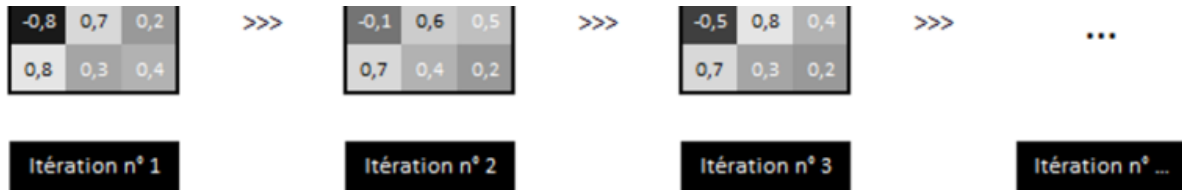
✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

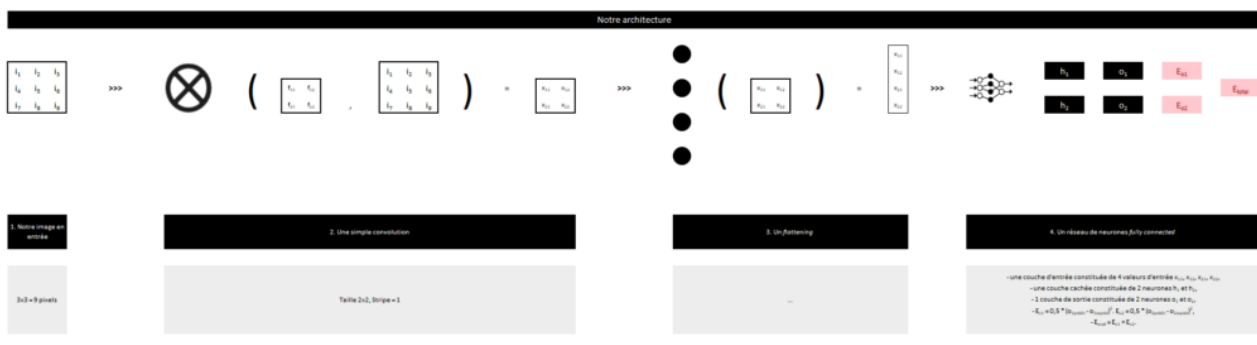
POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



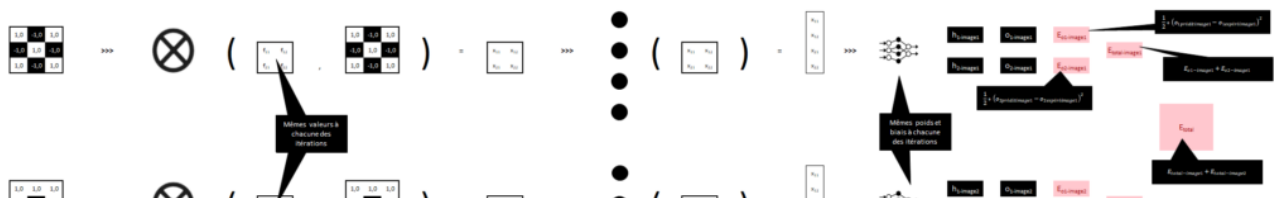
## L'architecture de notre réseau

Si besoin, cliquer sur l'image pour l'agrandir :



A chacune des itérations, nous allons utiliser nos 2 images dans 2 réseaux identiques, partageant les mêmes poids, biais et valeurs pour le filtre et les neurones artificiels, seules les données d'entrées seront bien entendu différentes (ie. la valeur des pixels étant différentes entre les 2 images).

Voici ce que cela donne (si besoin, cliquer sur l'image pour l'agrandir).



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

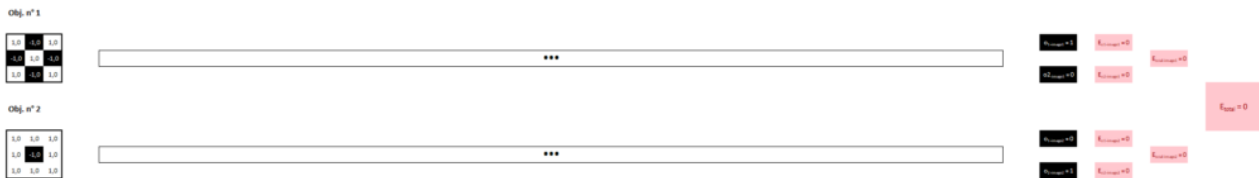
POLITIQUE DE COOKIES



donc

- $O_{1-image1}$  soit le plus proche possible de 1
- $O_{2-image1}$  soit le plus proche possible de 0
- $O_{1-image2}$  soit le plus proche possible de 0
- $O_{2-image2}$  soit le plus proche possible de 1

Rappelez-vous, l'image 1 appartient à la classe 1, et l'image 2 à la classe 2. (Si besoin, cliquer sur l'image pour l'agrandir)



Comme pour nos précédents réseaux de neurones, nous allons utiliser la méthode de la descente de gradient afin d'optimiser nos différentes variables :

- $f_{11}$
- $f_{12}$
- $f_{21}$
- $f_{22}$
- $W_{x11-h1}$
- $W_{x11-h2}$
- $W_{x12-h1}$
- $W_{x12-h2}$

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



- $w_{h2-o1}$
- $w_{h2-o2}$
- $b_{o1}$
- $b_{o2}$

Pour cela, comme expliqué également dans nos précédents articles, il va falloir trouver les formules de  $\partial E_{\text{total}}$  par rapport à chacune de ces 24 variables.

Certaines formules ont déjà été expliquées dans ces mêmes précédents articles, à savoir :

- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x11-h1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x11-h2}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x12-h1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x12-h2}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x21-h1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x21-h2}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x22-h1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{x22-h2}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial b_{h1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial b_{h2}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{h1-o1}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial w_{h1-o2}$

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES



- $\partial E_{\text{total}} / \partial f_{11}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial f_{12}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial f_{21}$
- $\partial E_{\text{total}} / \partial f_{22}$

## Rappel *Théorème de dérivation des fonctions composées*

Nous vous avons déjà présenté le théorème de dérivation des fonctions composées, on sait donc que :

$$\frac{\partial E_{\text{total}}}{\partial F} = \frac{\partial E_{\text{total}}}{\partial X} * \frac{\partial X}{\partial F}$$

### $\partial X / \partial F$

Intéressons-nous dans un premier temps à  $\partial X / \partial F$ .

Pour rappel, voici les calculs effectués durant la convolution :

$$\begin{aligned} x_{11} &= i_{11} * f_{11} + i_{12} * f_{12} + i_{21} * f_{21} + i_{22} * f_{22} \\ x_{12} &= i_{12} * f_{11} + i_{13} * f_{12} + i_{22} * f_{21} + i_{23} * f_{22} \\ x_{21} &= i_{21} * f_{11} + i_{22} * f_{12} + i_{31} * f_{21} + i_{32} * f_{22} \\ x_{22} &= i_{22} * f_{11} + i_{23} * f_{12} + i_{32} * f_{21} + i_{33} * f_{22} \end{aligned}$$

Développons nos différentes dérivées ( $\partial X / \partial F$ ).

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES



# le blog



$$\frac{\partial x_{11}}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{11} * f_{11} + i_{12} * f_{12} + i_{21} * f_{21} + i_{22} * f_{22})}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{11} * f_{11})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{12} * f_{12})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{21} * f_{21})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{22})}{\partial f_{21}} = 0 + 0 + 1 * i_{21} + 0 = i_{21}$$

$$\frac{\partial x_{11}}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{11} * f_{11} + i_{12} * f_{12} + i_{21} * f_{21} + i_{22} * f_{22})}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{11} * f_{11})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{12} * f_{12})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{21} * f_{21})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{22})}{\partial f_{22}} = 0 + 0 + 0 + 1 * i_{22} = i_{22}$$

$$\frac{\partial x_{12}}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11} + i_{13} * f_{12} + i_{22} * f_{21} + i_{23} * f_{22})}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{13} * f_{12})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{21})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{22})}{\partial f_{11}} = 1 * i_{12} + 0 + 0 + 0 = i_{12}$$

$$\frac{\partial x_{12}}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11} + i_{13} * f_{12} + i_{22} * f_{21} + i_{23} * f_{22})}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{13} * f_{12})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{21})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{22})}{\partial f_{12}} = 0 + 1 * i_{13} + 0 + 0 = i_{13}$$

$$\frac{\partial x_{12}}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11} + i_{13} * f_{12} + i_{22} * f_{21} + i_{23} * f_{22})}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{13} * f_{12})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{21})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{22})}{\partial f_{21}} = 0 + 0 + 1 * i_{22} + 0 = i_{22}$$

$$\frac{\partial x_{12}}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11} + i_{13} * f_{12} + i_{22} * f_{21} + i_{23} * f_{22})}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{12} * f_{11})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{13} * f_{12})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{21})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{22})}{\partial f_{22}} = 0 + 0 + 0 + 1 * i_{23} = i_{23}$$

$$\frac{\partial x_{21}}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11} + i_{22} * f_{12} + i_{31} * f_{21} + i_{32} * f_{22})}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{12})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{31} * f_{21})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{22})}{\partial f_{11}} = 1 * i_{21} + 0 + 0 + 0 = i_{21}$$

$$\frac{\partial x_{21}}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11} + i_{22} * f_{12} + i_{31} * f_{21} + i_{32} * f_{22})}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{12})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{31} * f_{21})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{22})}{\partial f_{12}} = 0 + 1 * i_{22} + 0 + 0 = i_{22}$$

$$\frac{\partial x_{21}}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11} + i_{22} * f_{12} + i_{31} * f_{21} + i_{32} * f_{22})}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{12})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{31} * f_{21})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{22})}{\partial f_{21}} = 0 + 0 + 1 * i_{31} + 0 = i_{31}$$

$$\frac{\partial x_{21}}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11} + i_{22} * f_{12} + i_{31} * f_{21} + i_{32} * f_{22})}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{21} * f_{11})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{22} * f_{12})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{31} * f_{21})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{22})}{\partial f_{22}} = 0 + 0 + 0 + 1 * i_{32} = i_{32}$$

$$\frac{\partial x_{22}}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11} + i_{23} * f_{12} + i_{32} * f_{21} + i_{33} * f_{22})}{\partial f_{11}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{12})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{21})}{\partial f_{11}} + \frac{\partial (i_{33} * f_{22})}{\partial f_{11}} = 1 * i_{22} + 0 + 0 + 0 = i_{22}$$

$$\frac{\partial x_{22}}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11} + i_{23} * f_{12} + i_{32} * f_{21} + i_{33} * f_{22})}{\partial f_{12}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{12})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{21})}{\partial f_{12}} + \frac{\partial (i_{33} * f_{22})}{\partial f_{12}} = 0 + 1 * i_{23} + 0 + 0 = i_{23}$$

$$\frac{\partial x_{22}}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11} + i_{23} * f_{12} + i_{32} * f_{21} + i_{33} * f_{22})}{\partial f_{21}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{12})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{21})}{\partial f_{21}} + \frac{\partial (i_{33} * f_{22})}{\partial f_{21}} = 0 + 0 + 1 * i_{32} + 0 = i_{32}$$

$$\frac{\partial x_{22}}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11} + i_{23} * f_{12} + i_{32} * f_{21} + i_{33} * f_{22})}{\partial f_{22}} = \frac{\partial (i_{22} * f_{11})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{23} * f_{12})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{32} * f_{21})}{\partial f_{22}} + \frac{\partial (i_{33} * f_{22})}{\partial f_{22}}$$

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_i} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_i} \right)$$

Nous avons ici 4  $f$  ( $f_{11}$ ,  $f_{12}$ ,  $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ), nous aurons donc 4 formules.

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{11}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{11}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{11}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{11}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{11}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{11}}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{12}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{12}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{12}}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{21}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{21}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{21}}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{22}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{22}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{22}}$$

En utilisant les dérivées calculées précédemment, nous obtenons les formules suivantes.

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{12}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{12}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{12}}$$

$$= \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{12}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{12}} = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * i_{12} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * i_{13} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * i_{22} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * i_{23}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{21}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{21}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{21}}$$

$$= \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{21}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{21}} = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * i_{21} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * i_{22} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * i_{31} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * i_{32}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial f_{22}} = \sum_{k=1}^4 \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial x_k} * \frac{\partial x_k}{\partial f_{22}} \right) = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{22}}$$

$$= \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * \frac{\partial x_{11}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * \frac{\partial x_{12}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * \frac{\partial x_{21}}{\partial f_{22}} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * \frac{\partial x_{22}}{\partial f_{22}} = \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} * i_{22} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{12}} * i_{23} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} * i_{32} + \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} * i_{33}$$

## Représentation visuelle de $\partial E_{total} / \partial F$

- les 4 formules ont toutes la même « forme » ( $a * x + b * y + c * z + d * w$ ),
- les 4 formules font toutes appel aux mêmes éléments ( $\partial E_{total} / \partial x_{11}$ ,  $\partial E_{total} / \partial x_{12}$ ,  $\partial E_{total} / \partial x_{21}$ ,  $\partial E_{total} / \partial x_{22}$ ),
- la totalité des valeurs  $i$  des pixels de notre image en entrée sont utilisées ( $i_{11}$ ,  $i_{12}$ ,  $i_{13}$ ,  $i_{21}$ ,  $i_{22}$ ,  $i_{23}$ ,  $i_{31}$ ,  $i_{32}$ ,  $i_{33}$ ).

Cela ressemble à une convolution.

Pour rappel, voici notre convolution initiale :



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



$$\left[ \frac{\partial E_{total}}{\partial f_{21}} \quad \frac{\partial E_{total}}{\partial f_{22}} \right] = \begin{pmatrix} \text{W} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} i_{31} & i_{32} & i_{33} \end{bmatrix}, \left[ \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{21}} \quad \frac{\partial E_{total}}{\partial x_{22}} \right]$$

Nous vous invitons à vérifier par vous-même cette convolution, vous obtiendrez les mêmes résultats qu'indiqués précédemment.

## $\partial E_{total} / \partial X$

Il ne nous reste désormais plus qu'à trouver les formules «  $\partial E_{total} / \partial X$  ».

En prenant par exemple  $x_{11}$ , et en faisant appel au théorème de dérivations des fonctions composées,  $\partial E_{total} / \partial x_{11}$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial x_{11}} = \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial h_{1activation}} * \frac{\partial h_{1activation}}{\partial h_{1préactivation}} * \frac{\partial h_{1préactivation}}{\partial x_{11}} \right) + \left( \frac{\partial E_{total}}{\partial h_{2activation}} * \frac{\partial h_{2activation}}{\partial h_{2préactivation}} * \frac{\partial h_{2préactivation}}{\partial x_{11}} \right)$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial h_{1activation}} = (o_{1prédit} - o_{1espéré}) * (o_{1prédit} * (1 - o_{1prédit})) * w_{h1o1} + (o_{2prédit} - o_{2espéré}) * (o_{2prédit} * (1 - o_{2prédit})) * w_{h1o2}$$

$$\frac{\partial h_{1activation}}{\partial h_{1préactivation}} = h_1 * (1 - h_1)$$

$$\frac{\partial h_{1préactivation}}{\partial x_{11}} = w_{x11h1}$$

$$\frac{\partial E_{total}}{\partial h_{2activation}} = (o_{1prédit} - o_{1espéré}) * (o_{1prédit} * (1 - o_{1prédit})) * w_{h2o1} + (o_{2prédit} - o_{2espéré}) * (o_{2prédit} * (1 - o_{2prédit})) * w_{h2o2}$$

$$\frac{\partial h_{2activation}}{\partial h_{2préactivation}} = h_2 * (1 - h_2)$$

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



nous vous avons présenté les principales opérations utilisées dans ce type de réseau, puis vous avez pu voir comment il *apprenait* à corriger ses erreurs de prédiction. Vous pouvez trouver ici un [fichier exploitant ces éléments afin de construire un modeste CNN](#).

---



**KÉVIN VANCAPPEL**  
**Consultant Senior**  
Business & Decision

Je suis tout particulièrement intéressé par l'innovation technologique au service de l'expérience d'achat.

[En savoir plus](#)

## COMMENTAIRES (2)

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



## [TUTORIEL] Deep Learning : le Réseau neuronal convolutif (CNN)

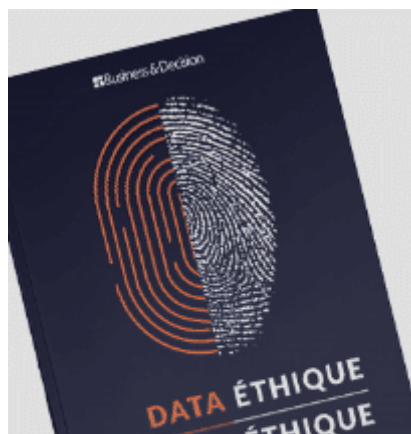


## [TUTORIEL] Machine Learning : comment mettre en place l'apprentissage d'un réseau de neurones ?



## [TUTORIEL] Machine Learning : comprendre ce qu'est un réseau de neurones et en créer un !

★  
PREMIUM



Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

# le blog



## NEWSLETTER

Recevoir notre actualité par mail

OK

☐ **J'accepte la politique des données personnelles**

## GARDONS LE CONTACT

Retrouvez-nous sur les réseaux sociaux



ÉVÉNEMENTS



NEWSLETTER



CONTACTEZ-NOUS

# le blog

Business & Decision respecte votre vie privée.

Nous utilisons des cookies à des fins de mesure d'audience, de personnalisation de votre parcours et d'amélioration de la qualité de nos services.

Vous pouvez modifier ou vous opposer aux traitements de vos données personnelles à tout moment en cliquant sur le lien « Gestion des cookies » en bas de page.

✓ TOUT ACCEPTER

✗ TOUT REFUSER

PERSONNALISER

POLITIQUE DE COOKIES

