Réseaux de neurones

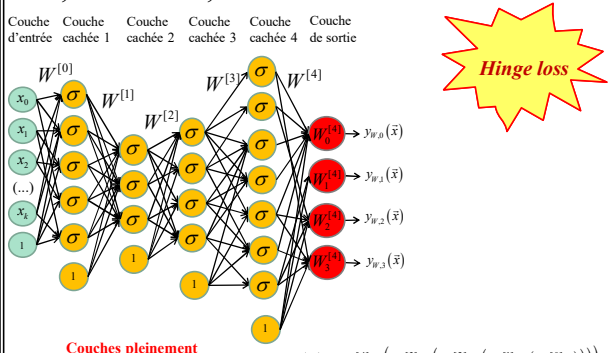
IFT 780

Réseaux à convolution

Par
Pierre-Marc Jodoin

1

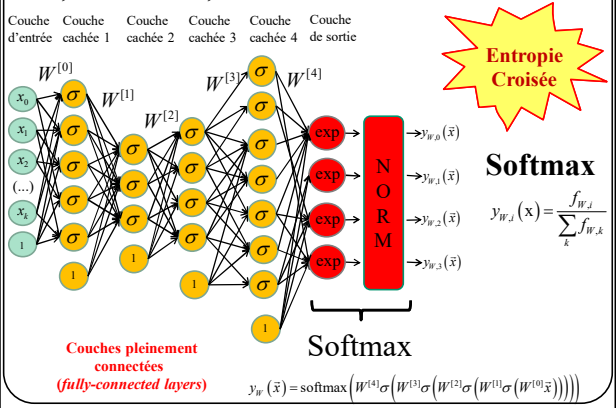
kD, 4 Classes, Réseau à 4 couches cachées



$$y_W(\vec{x}) = W^{[4]}\sigma\left(W^{[3]}\sigma\left(W^{[2]}\sigma\left(W^{[1]}\sigma\left(W^{[0]}\vec{x}\right)\right)\right)\right)$$

2

kD, 4 Classes, Réseau à 4 couches cachées

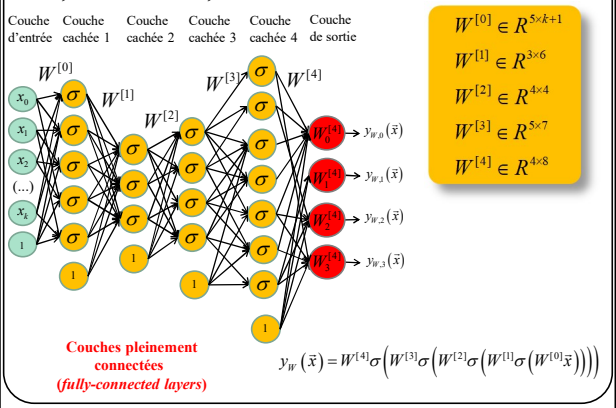


$$y_{W,i}(x) = \frac{f_{W,i}}{\sum_k f_{W,k}}$$

$$y_W(\vec{x}) = \text{softmax}\left(W^{[4]}\sigma\left(W^{[3]}\sigma\left(W^{[2]}\sigma\left(W^{[1]}\sigma\left(W^{[0]}\vec{x}\right)\right)\right)\right)\right)$$

3

kD, 4 Classes, Réseau à 4 couches cachées



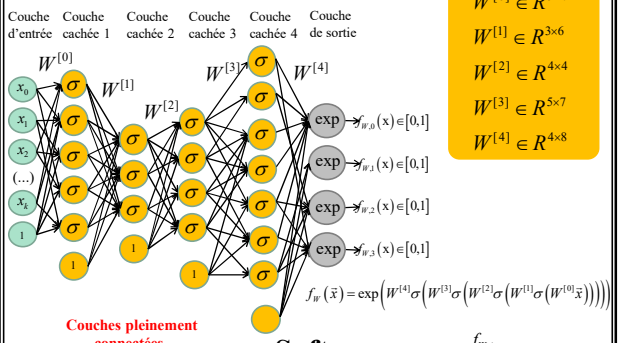
$W^{[0]} \in R^{5\times k+1}$
$W^{[1]} \in R^{3\times 6}$
$W^{[2]} \in R^{4\times 4}$
$W^{[3]} \in R^{5\times 7}$
$W^{[4]} \in R^{4\times 8}$

Couches pleinement connectées
(fully-connected layers)

$$y_W(\vec{x}) = W^{[4]}\sigma\left(W^{[3]}\sigma\left(W^{[2]}\sigma\left(W^{[1]}\sigma\left(W^{[0]}\vec{x}\right)\right)\right)\right)$$

4

kD, 4 Classes, Réseau à 4 couches cachées



$W^{[0]} \in R^{5\times k+1}$
$W^{[1]} \in R^{3\times 6}$
$W^{[2]} \in R^{4\times 4}$
$W^{[3]} \in R^{5\times 7}$
$W^{[4]} \in R^{4\times 8}$

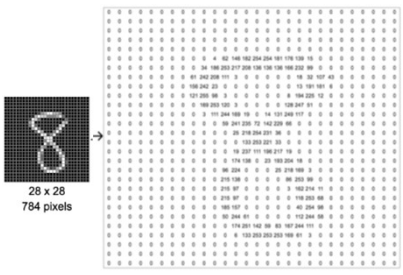
Couches pleinement connectées
(fully-connected layers)

$$f_W(\vec{x}) = \exp\left(W^{[4]}\sigma\left(W^{[3]}\sigma\left(W^{[2]}\sigma\left(W^{[1]}\sigma\left(W^{[0]}\vec{x}\right)\right)\right)\right)\right)$$

Softmax $y_{W,i}(x) = \dfrac{f_{W,i}}{\sum_k f_{W,k}}$

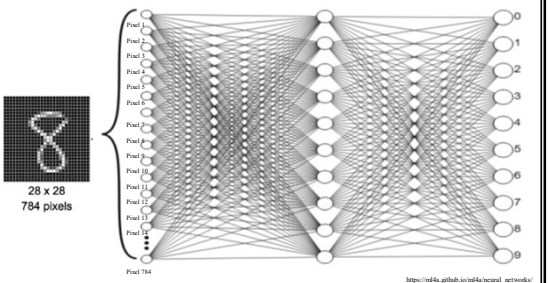
5

Comment classifier des images?



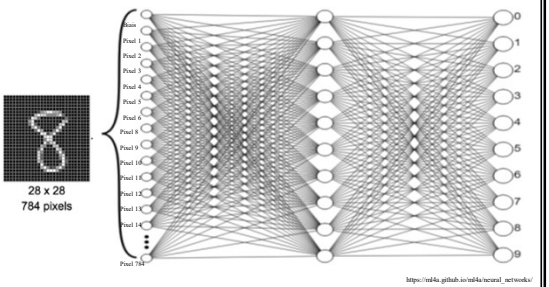
6

Comment classifier des images?



7

Beaucoup de paramètres (7850 dans la couche 1)



8

Beaucoup trop de paramètres (655,370 dans la couche 1)

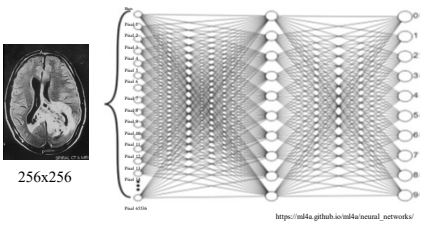
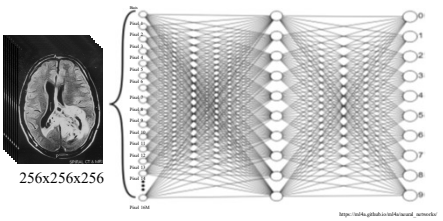


Image médicale (IRM de cerveau)

9

Beaucoup **TROP** de paramètres (160M dans la couche 1)



256x256x256

Image médicale 3D (IRM de cerveau)

10

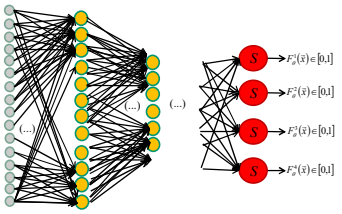
Comment réduire le nombre de connections?

11

11

Comment réduire le nombre de connections?

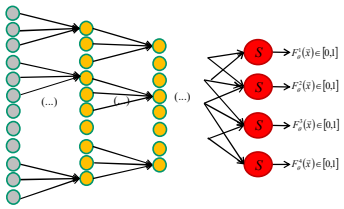
Les **couches pleinement connectées (*fully-connected layers*)** sont problématiques lorsque le **nombre de neurones est élevé.**



150-D en entrée avec **150 neurones** dans la 1ère couche => **22,200 parametres dans la couche d'entrée!!**

12

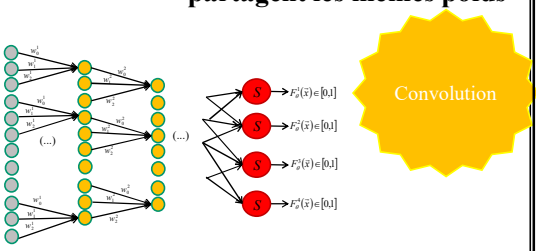
Solution : connexions partielles



150-D en entrée avec **148 neurones** dans la 1ère couche => **444 paramètres dans la première couche!!**

13

Paramètres partagés : **les neurones de la couche 1 partagent les mêmes poids**



150-D en entrée avec 148 neurones dans la 1ère couche => **3 paramètres dans la couche d'entrée!!**

Faible nombre de paramètres = on peut augmenter la profondeur!

14

Convolution et couche convolutionnelle **1D**

15

Exemple 1D de la convolution

$$(f * W)(v) = \sum_{u=-\infty}^{\infty} f(u)W(v-u)$$

(signal d'entrée) f(u): 10 20 -30 40 -50

(filtre) W(u): .1 .2 .3

(filtre) W(-u): .3 .2 .1

(f*W)(1): 10 20 -30 40 -50 × × × .3 .2 .1 → 3+4+-3 → 4

(f*W)(2): 10 20 -30 40 -50 × × × .3 .2 .1 → 6-6+4 → 4 4

(f*W)(3): 10 20 -30 40 -50 × × × .3 .2 .1 → -9+8+-5 → 4 4 -6

16

16

En gros

convolution = **produit scalaire** + **translation**

17

La convolution des réseaux de neurones = corrélation

$$(f * W)(v) = \sum_{u=-\infty}^{\infty} f(u)W(v+u)$$

(signal d'entrée) f(u): 10 20 -30 40 -50

(filtre) W(u): .1 .2 .3

(filtre) W(+u): .1 .2 .3

(f*W)(1): 10 20 -30 40 -50 × × × .1 .2 .3 → 1+4-9 → -4

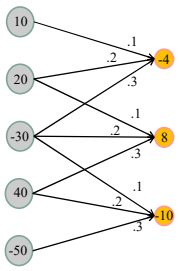
(f*W)(2): 10 20 -30 40 -50 × × × .1 .2 .3 → 2-6+12 → -4 8

(f*W)(3): 10 20 -30 40 -50 × × × .1 .2 .3 → -3+8-15 → -4 8 -10

18

18

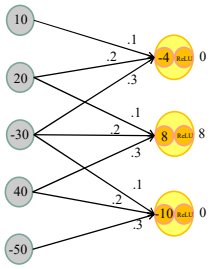
L'opération de la page précédente est équivalente à



19

19

L'opération de la page précédente est équivalente à

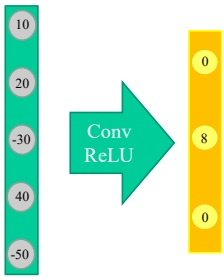


Fonction d'activation (ex. ReLU)

20

20

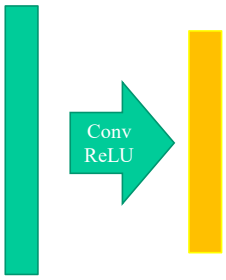
Représentation graphique courante (simple)



21

21

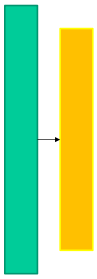
Représentation graphique courante (encore plus simple)



22

22

Représentation graphique courante (vraiment ultra simple)



23

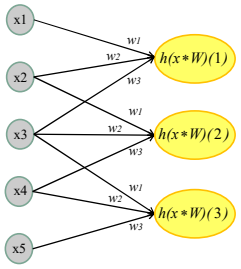
23

Représentation graphique courante (eehhh…)

24

24

Apprentissage = apprendre les **poids** w_i **des filtres convolutifs**

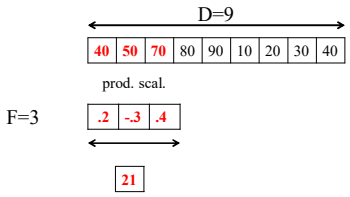


h: fonction d'activation
(tanh, ReLU, elu, etc.)

25

25

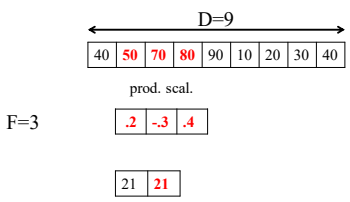
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



26

26

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

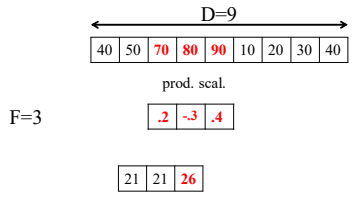


Stride = 1

27

27

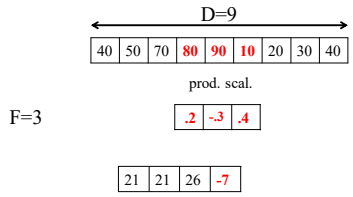
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



28

28

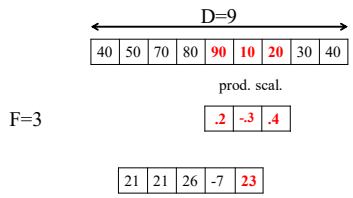
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



29

29

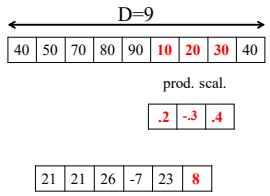
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



30

30

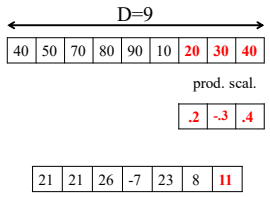
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



31

31

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

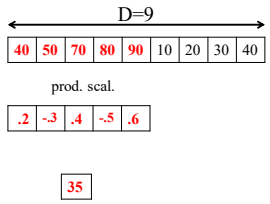


Taille de la carte d'activation = 7

32

32

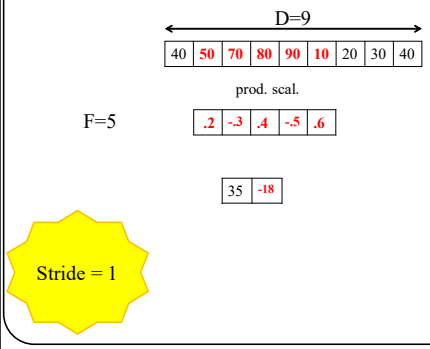
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



33

33

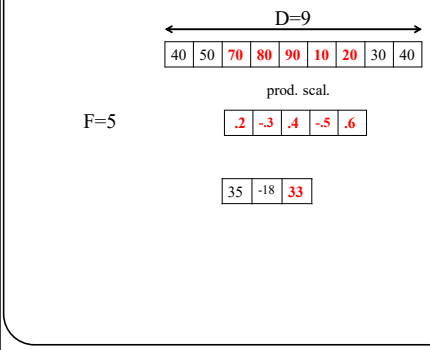
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



34

34

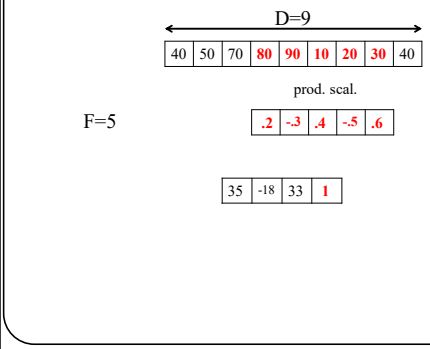
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



35

35

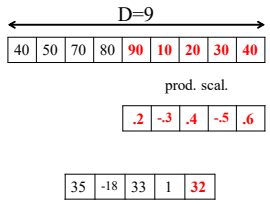
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



36

36

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

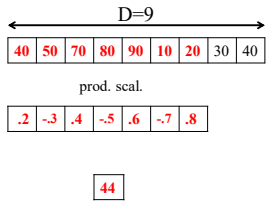


Taille de la carte d'activation = **5**

37

37

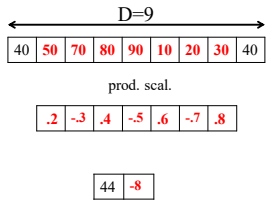
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



38

38

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

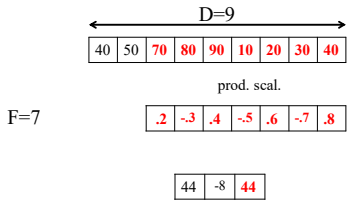


Stride = 1

39

39

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

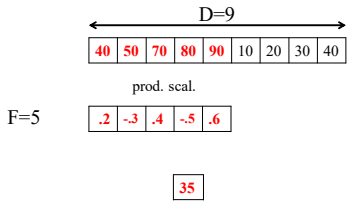


Taille de la carte d'activation = **3**

40

40

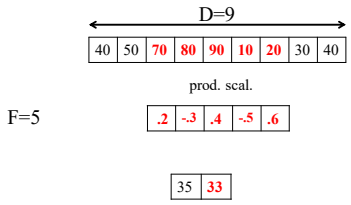
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



41

41

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

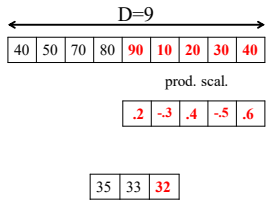


Stride = 2

42

42

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

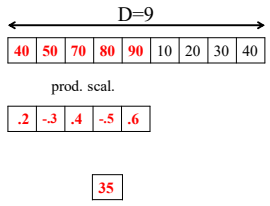


Taille de la carte d'activation = **3**

43

43

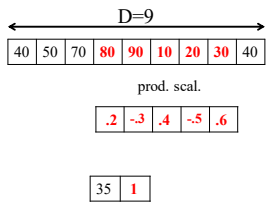
Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



44

44

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

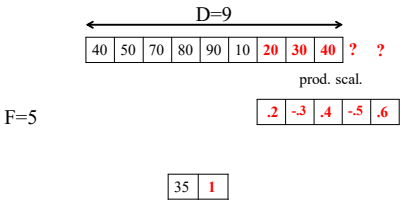


Stride = 3

45

45

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation



ERREUR! Combinaison D-F-S invalide

46

46

Stride et calcul de la taille de la carte d'activation

Taille de la carte d'activation = **(D-F)/S+1**

47

47

Parfois on souhaite que le **nombre de neurones** dans la carte d'activation soit **le même** que la couche précédente

? 10 20 -30 40 -50
× × ×
.1 .2 .3

Comment gérer les bords?

Option 1 : Ajout de zéros (« *zero padding* » remplacer ? par 0)

f(u)
0 10 20 -30 40 -50 0

(f*W)(u)
8 -4 8 -10 -6

Option 2 : Réflexion (« *reflexion padding* »)

f(u)
20 10 20 -30 40 -50 40

(f*W)(u)
10 -4 8 -10 2

Option 3 : Étirement (« *stretching padding* »)

f(u)
10 10 20 -30 40 -50 -50

(f*W)(u)
9 -4 8 -10 -21

48

48

Parfois on souhaite que le **nombre de neurones** dans la carte d'activation soit **le même** que la couche précédente

Comment gérer les bords?

Option 1 : Ajout de zéros (« ***zero padding*** » remplacer ? par 0)

f(u)

0	10	20	-30	40	-50	0

(f*W)(u)

8	-4	8	-10	-6

Option 2 : Réflexion (« *reflexion padding* »)

De loin l'option la plus utilisée

f(u)

10	10	20	-30	40	-50	-50

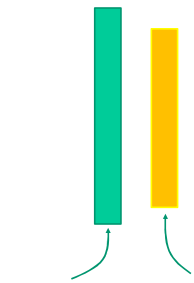
(f*W)(u)

9	-4	8	-10	-21

49

49

Couche convolutionnelle sans « padding »



signal d'entrée

Carte d'activation *(feature map)*

Couche convolutionnelle avec « padding »

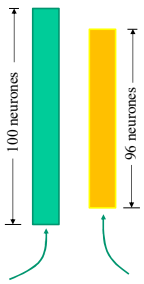
signal d'entrée

Carte d'activation *(feature map)*

50

Exemple : taille de filtre = 5, stride=1

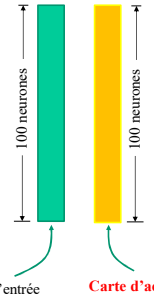
Sans « padding »
(parfois appelée convolution « *valid* »)



Signal d'entrée

Carte d'activation *(feature map)*

Avec « padding »
(parfois appelée convolution « *same* »)



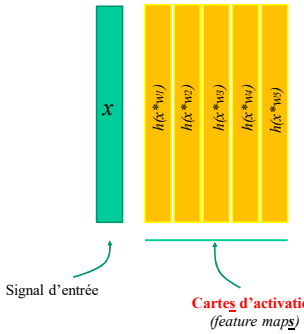
Signal d'entrée

Carte d'activation *(feature map)*

51

Il est possible d'apprendre **plusieurs filtres par couche**

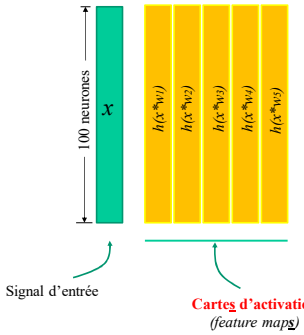
(ex. 5 filtres donnant 5 cartes d'activation)



52

Taille de filtre = 5

(ex. 5 filtres donnant 5 cartes d'activation)



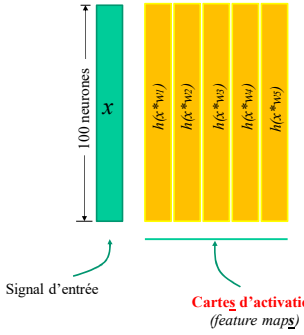
Avec « *padding* »

Combien de neurones et de paramètres au total?

53

Taille de filtre = 5

(ex. 5 filtres donnant 5 cartes d'activation)



Avec « *padding* »

- 100 neurones par carte d'activation
- 500 neurones au total
- 25 (5x5) paramètres au total

54

Convolution
et
couche convolutionnelle
2D

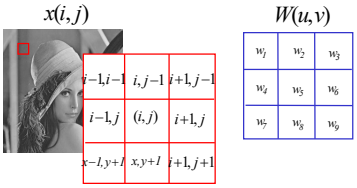
55

Filtage 2D

(sans flip de filtre)

$$(x * W)(i,j) = \sum_u \sum_v f(i+u, j+v) W(u,v)$$

$x(i,j)$



$W(u,v)$

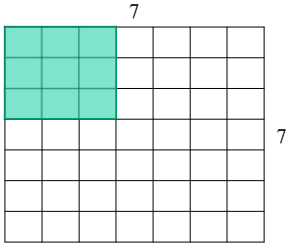
w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

$$\begin{aligned}(x*W)(i,j) = {} & w_1 x(i-1,j-1) + w_2 x(i,j-1) + w_3 x(i+1,j-1) \\ & + w_4 x(i-1,j) + w_5 x(i,j) + w_6 x(i+1,j) \\ & + w_7 x(i-1,j+1) + w_8 x(i,j+1) + w_9 x(i+1,j+1)\end{aligned}$$

56

Convolution 2D

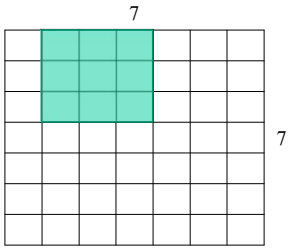
Filtre = 3x3
Stride = 1



57

Convolution 2D

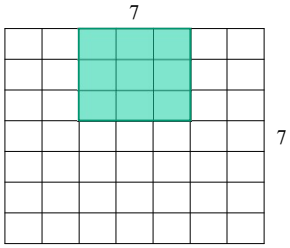
Filtre = 3x3
Stride = 1



58

Convolution 2D

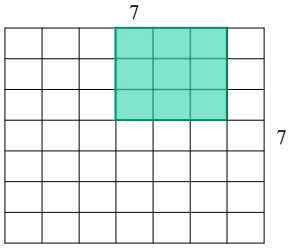
Filtre = 3x3
Stride = 1



59

Convolution 2D

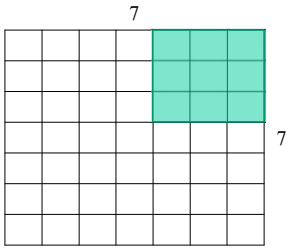
Filtre = 3x3
Stride = 1



60

Convolution 2D

Filtre = 3x3
Stride = 1

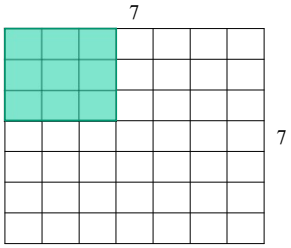


Taille de la carte d'activation (pour stride 1) = **5x5**

61

Convolution 2D

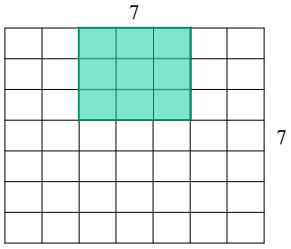
Filtre = 3x3
Stride = 2



62

Convolution 2D

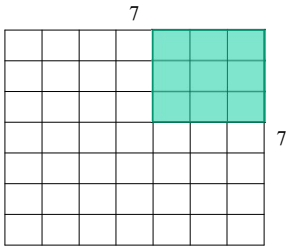
Filtre = 3x3
Stride = 2



63

Convolution 2D

Filtre = 3x3
Stride = 2

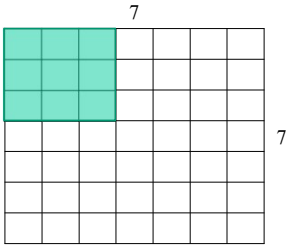


Taille de la carte d'activation (pour stride 2) = **3x3**

64

Convolution 2D

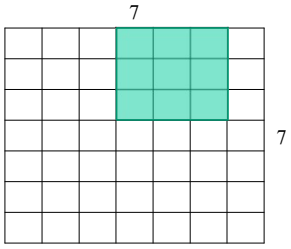
Filtre = 3x3
Stride = 3



65

Convolution 2D

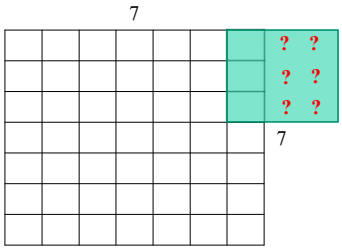
Filtre = 3x3
Stride = 3



66

Convolution 2D

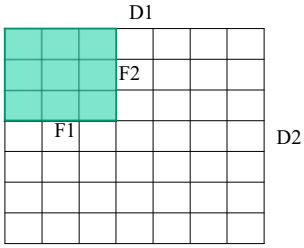
Filtre = 3x3
Stride = 2



Combinaison D-F-S invalide!

67

Convolution 2D

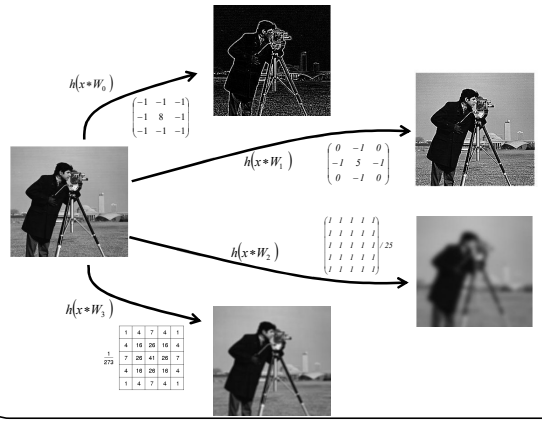


Taille de la carte d'activation :

(D1-F1)/S+1 x (D2-F2)/S+1

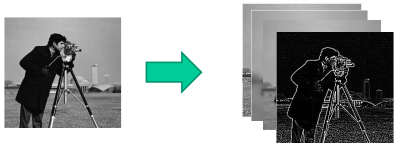
68

Différents filtres = différentes cartes d'activation



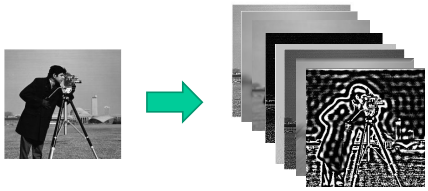
69

4 filtres = Couche convolutive avec **4 cartes d'activation**



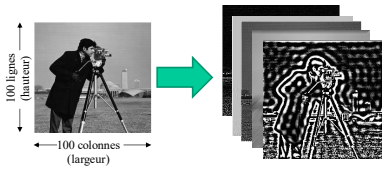
70

K filtres = Couche convolutive avec **K cartes d'activation**



71

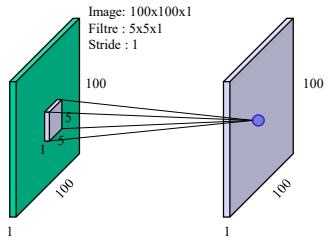
Ex.: taille de filtre : 5x5, 5 cartes d'activation, convolution « same »



- 10,000 neurones par carte d'activation
- 50,000 neurones au total
- 5x5x5 = 125 paramètres au total

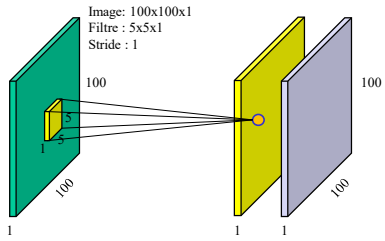
72

Représentation schématique
(1 filtre et 1 carte d'activation, convolution « same »)



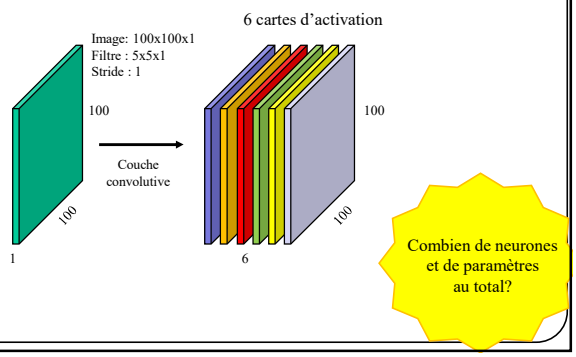
73

Représentation schématique
(2 filtres et 2 cartes d'activation, convolution « *same* »)



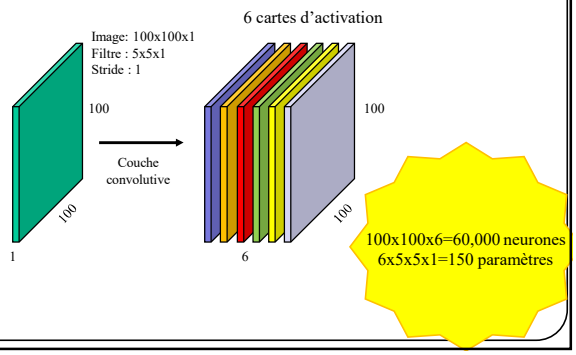
74

Représentation schématique
(6 filtres et 6 cartes d'activation, convolution « same »)



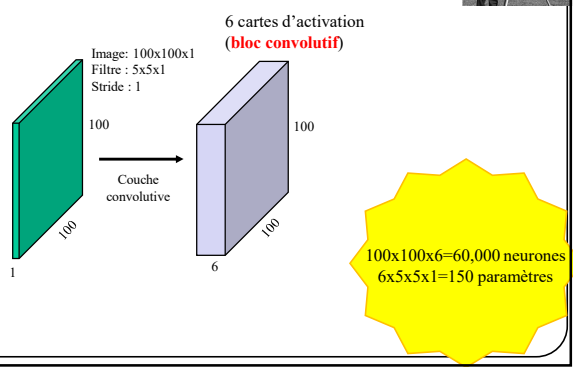
75

Représentation schématique
(6 filtres et 6 cartes d'activation, convolution « *same* »)



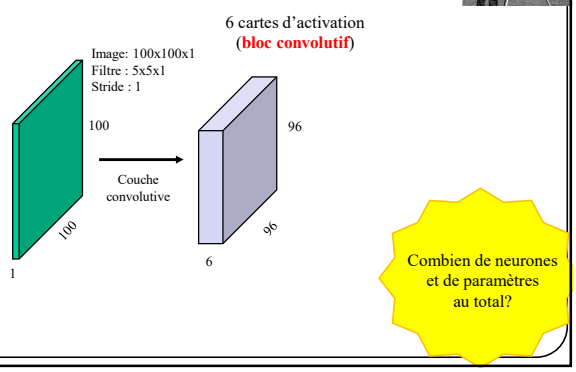
76

Représentation schématique **simplifiée**
(6 filtres et 6 cartes d'activation, convolution « ***same*** »)



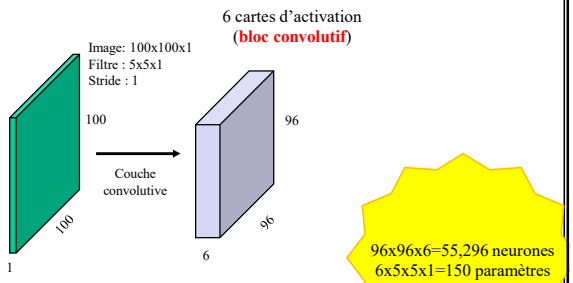
77

Représentation schématique simplifiée
(6 filtres et 6 cartes d'activation, convolution « ***valid*** »)



78

Représentation schématique simplifiée
(6 filtres et 6 cartes d'activation, convolution « ***valid*** »)

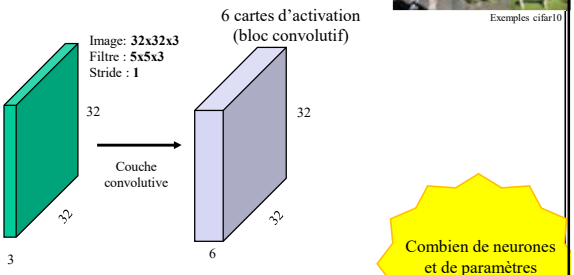


96x96x6=55,296 neurones
6x5x5x1=150 paramètres

79

Représentation schématique **images couleur**
(ex.: images RGB de CIFAR10
convolution « *same* »)

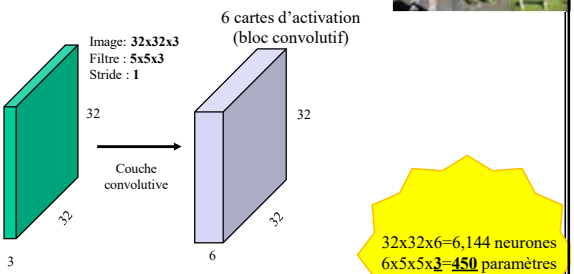
Exemples cifar10



Combien de neurones
et de paramètres
au total?

80

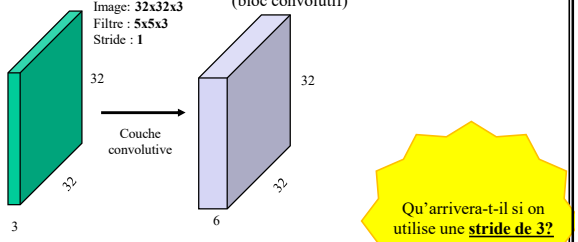
Représentation schématique **images couleur**
(ex.: images RGB de CIFAR10
convolution « *same* »)



32x32x6=6,144 neurones
6x5x5x**3**=**450** paramètres

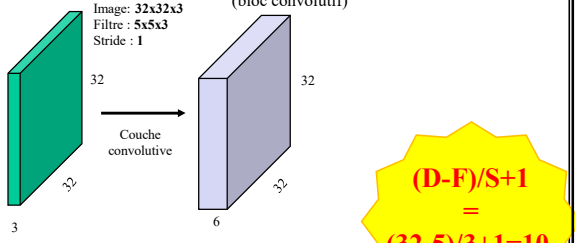
81

Représentation schématique **images couleur**
(ex.: images RGB de CIFAR10
convolution « *same* »)



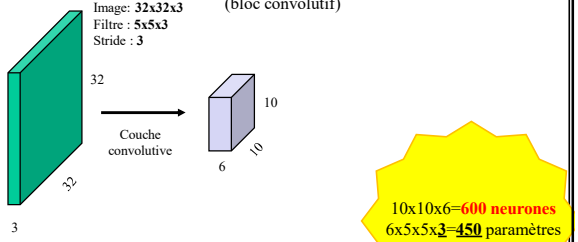
82

Représentation schématique **images couleur**
(ex.: images RGB de CIFAR10
convolution « *same* »)



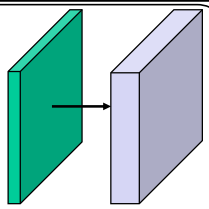
83

Représentation schématique **images couleur**
(ex.: images RGB de CIFAR10
convolution « valid »)



84

Exemple

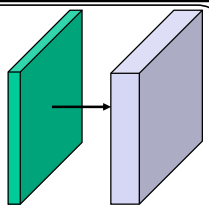


Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***same*** »

Combien y a-t-il de paramètres dans cette couche?

85

Exemple



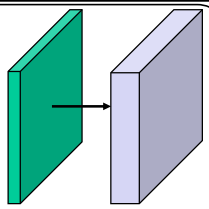
Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***same*** »

Combien y a-t-il de paramètres dans cette couche?

Chaque filtre a **5x5x3** = **75** paramètres
Comme il y a **10 filtres** : **750** paramètres

86

Exemple



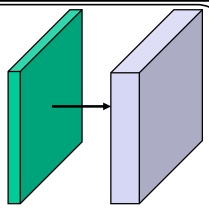
Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***same*** ».

Combien y a-t-il de paramètres dans cette couche **si on ajoute un biais**?

Chaque filtre a **5x5x3+1** = **76** paramètres (+1 pour le biais)
Comme il y a **10 filtres** : **760** paramètres

87

Exemple

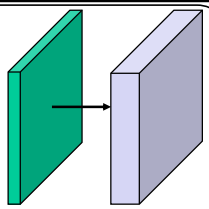


Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***valid*** »

Combien de paramètres dans cette couche?

88

Exemple



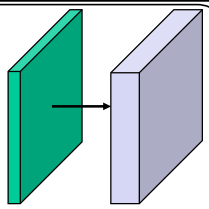
Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***valid*** »

Combien de paramètres dans cette couche?

Même chose, cela ne change pas la conformité des filtres

89

Exemple

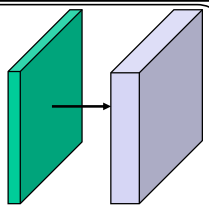


Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***valid*** »

Combien de **neurones** dans les cartes d'activations?

90

Exemple



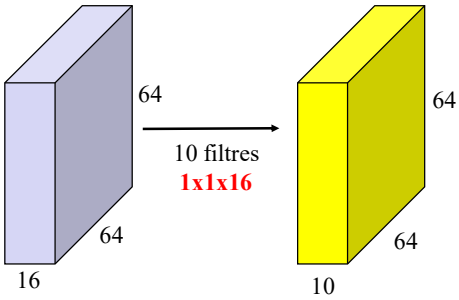
Volume en entrée : **32 x 32 x 3**
10 filtres 5x5 avec **stride = 1**
et convolution « ***valid*** »

Combien de **neurones** dans les cartes d'activations?

(32-5+1) x (32-5+1) x 10 = 7,840

91

Des filtres 1x1? Oui ça marche



92

Exemple simple d'un filtre 1x1

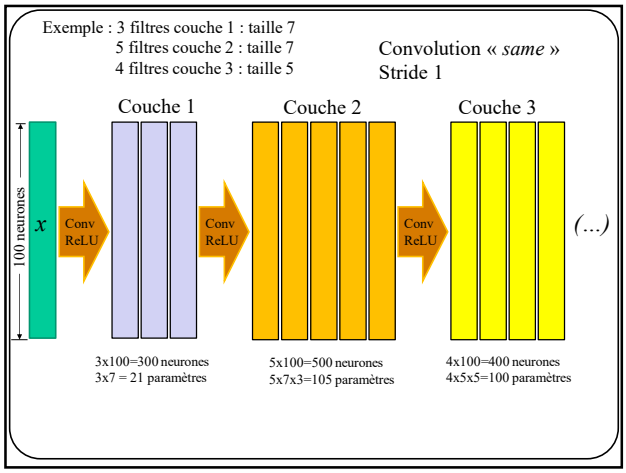
$$\left[\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right]$$

Filtre moyennant les canaux **rouge**, **vert**, **bleu** d'une image couleur.
Résultat, une image en **niveau de gris**.

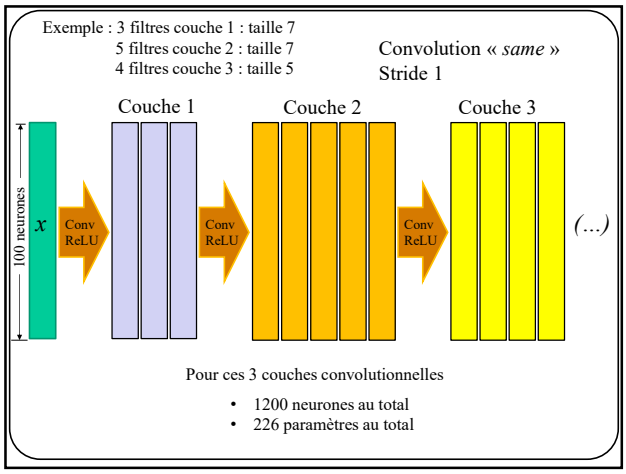
93

Tout comme un Perceptron multi-couches, un réseau à convolution contient **plusieurs couches consécutives**

94



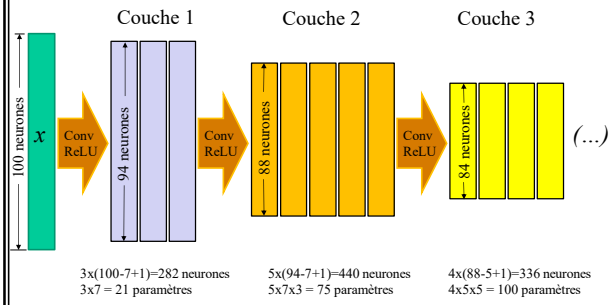
95



96

Exemple : 3 filtres couche 1 : taille 7
5 filtres couche 2 : taille 7
4 filtres couche 3 : taille 5

Convolution « ***valid*** »
Stride 1



3x(100-7+1)=282 neurones
3x7 = 21 paramètres

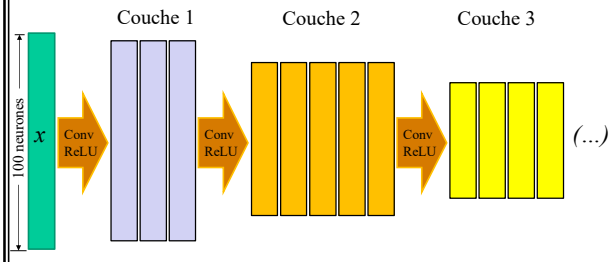
5x(94-7+1)=440 neurones
5x7x3 = 75 paramètres

4x(88-5+1)=336 neurones
4x5x5 = 100 paramètres

97

Exemple : 3 filtres couche 1 : taille 7
5 filtres couche 2 : taille 7
4 filtres couche 3 : taille 5

Convolution « ***valid*** »
Stride 1

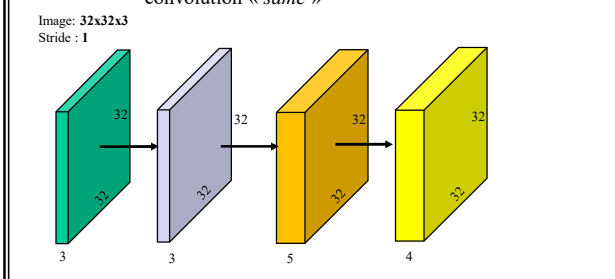


Pour ces 3 couches convolutionnelles

- 1066 neurones au total
- 226 paramètres au total

98

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *same* »



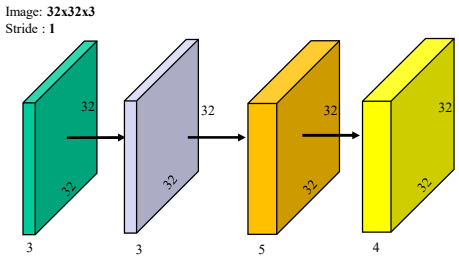
3x(32x32)=3,072 neurones
3x7x7x3 = 441 paramètres

5x(32x32)=5,120 neurones
5x9x9x3 = 1,215 paramètres

4x(32x32)=4,096 neurones
4x11x11x5 = 2,420 paramètres

99

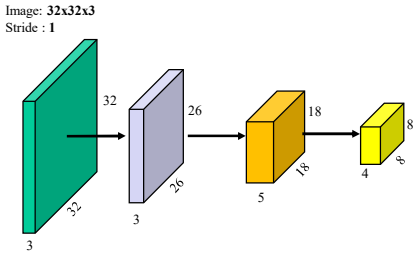
Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *same* »



12,288 neurones au total
4,076 paramètres au total

100

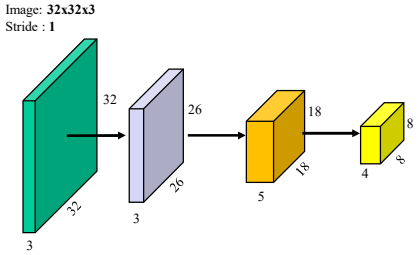
Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »



3x(26x26)=2,028 neurones 5x(18x18)=1,620 neurones 4x(8x8)=256 neurones
3x7x7x3 = 441 paramètres 5x9x9x3 = 1,215 paramètres 4x11x11x5 = 2,420 paramètres

101

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »



3,904 neurones au total
4,076 paramètres au total

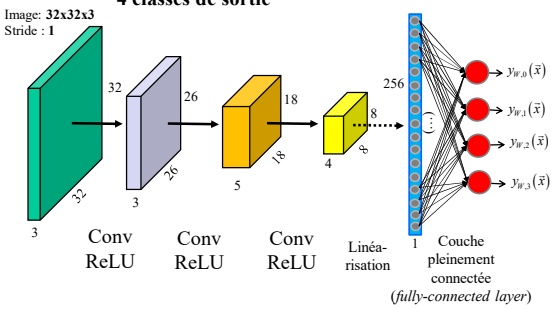
102

Tout comme un perceptron multi-couches, un réseau à convolution se termine par une **couche de sortie** avec **1 neurone par variable prédite**

103

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

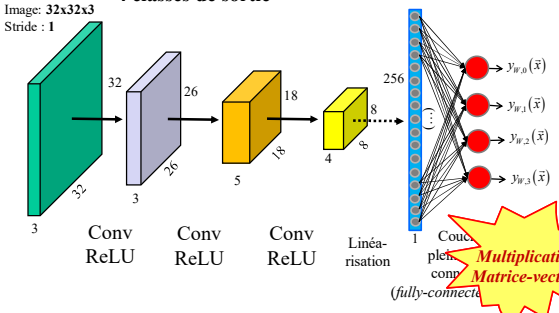
Hinge loss



104

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

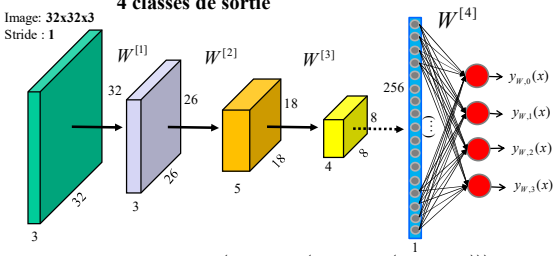
Hinge loss



105

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

Hinge loss



$$y_W(x) = W^{[4]}h\left(W^{[3]} * h\left(W^{[2]} * h\left(W^{[1]} * x\right)\right)\right)$$

106

$$y_W(x) = W^{[4]}h\left(W^{[3]} * h\left(W^{[2]} * h\left(W^{[1]} * x\right)\right)\right)$$

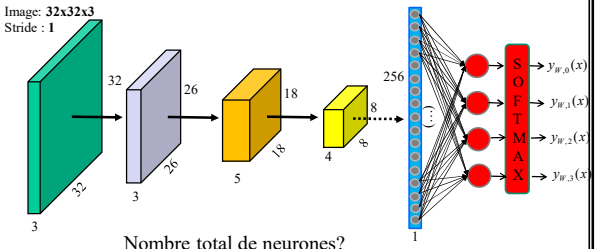
Filtres convolutifs

Matrice 4x256

107

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

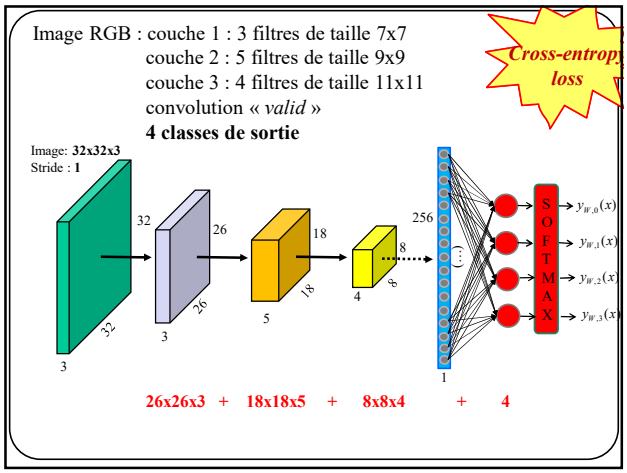
Cross-entropy loss



Nombre total de neurones?

108

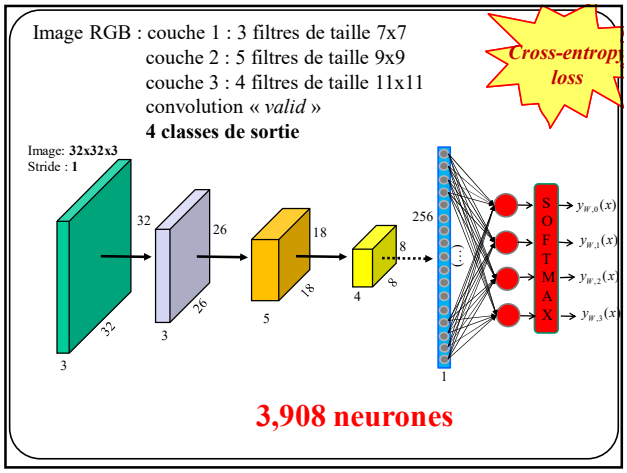
Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie



26x26x3 + 18x18x5 + 8x8x4 + 4

109

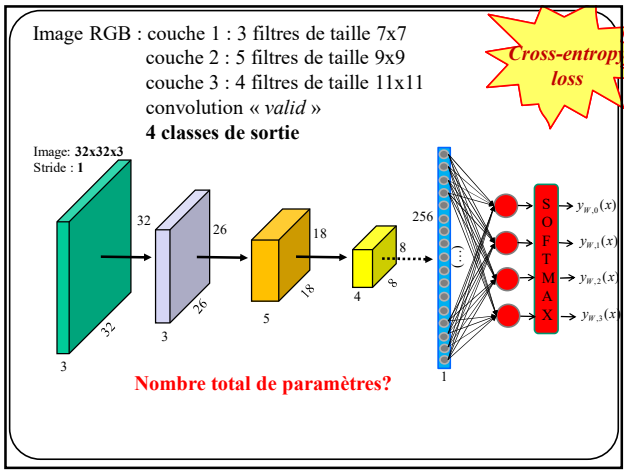
Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie



3,908 neurones

110

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

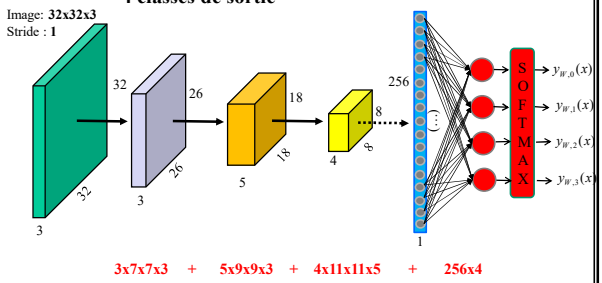


Nombre total de paramètres?

111

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

Cross-entropy loss

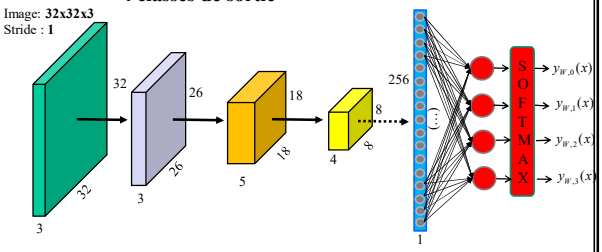


3x7x7x3 + 5x9x9x3 + 4x11x11x5 + 256x4

112

Image RGB : couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
convolution « *valid* »
4 classes de sortie

Cross-entropy loss



5,100 paramètres

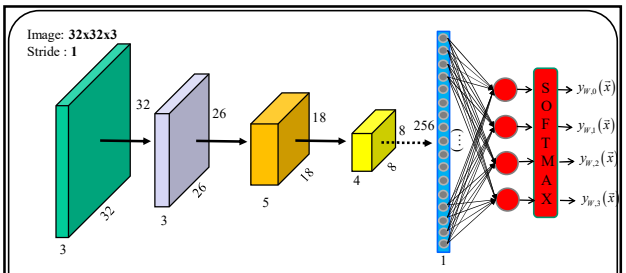
113

Réseaux à convolution

vs

Réseaux **pleinement** convolutifs

114



$$y_W(x) = W^{[4]}h\left(W^{[3]} * h\left(W^{[2]} * h\left(W^{[1]} * x\right)\right)\right)$$

Il est possible de **remplacer la multiplication matrice-vecteur** de la fin par une **convolution**

115

Exemple 1d
(convolution « valid »)

9										3			7						
40	50	70	80	90	10	20	30	40	*	.2	-.3	.4	=	21	21	26	-7	23	8	11

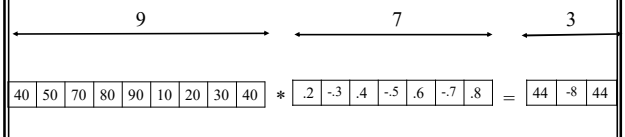
116

Exemple 1d
(convolution « valid »)

9										5					5					
40	50	70	80	90	10	20	30	40	*	.2	-.3	.4	-.5	.6	=	35	-18	33	1	32

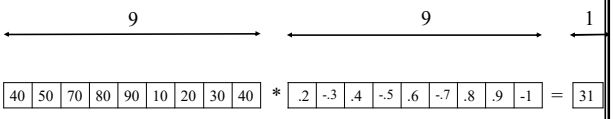
117

Exemple 1d
(convolution « valid »)



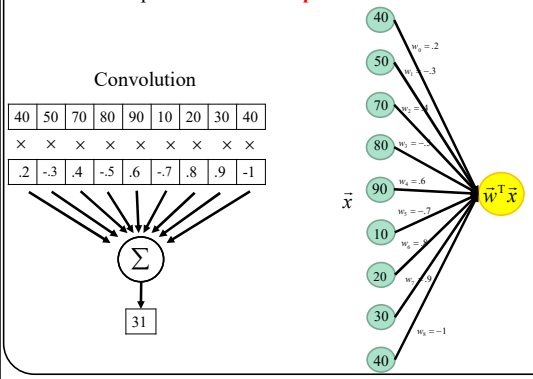
118

Taille filtre = nb de neurones couche précédente



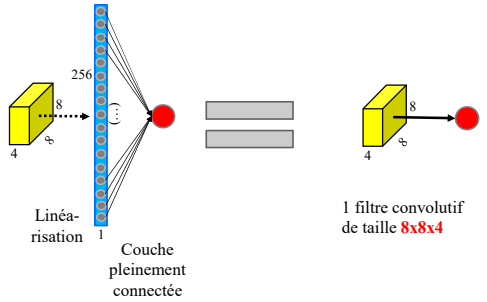
119

Signal d'entrée de **taille 9** convolué avec un filtre « same » de **taille 9** correspond à une **couche pleinement connectée**



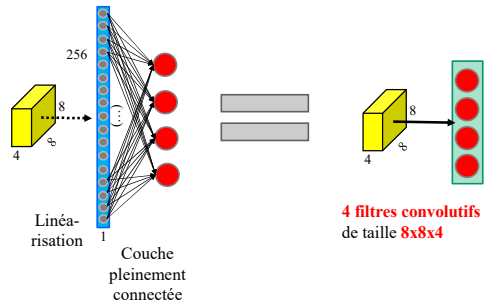
120

Même chose pour une **convolution 2D**

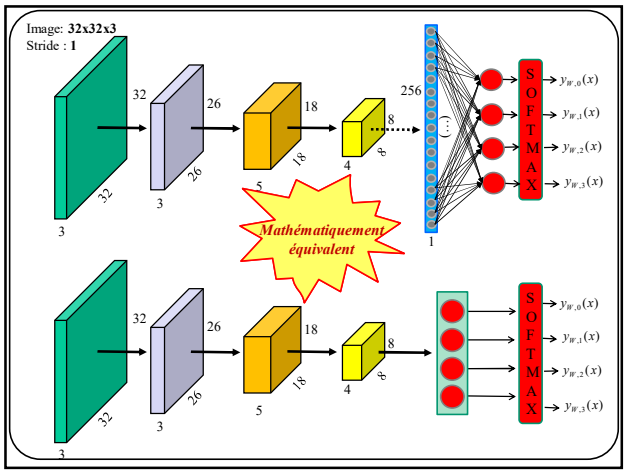


121

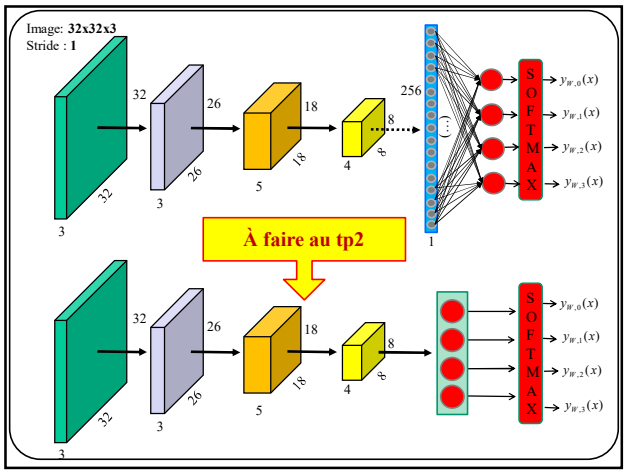
Même chose pour une **convolution 2D**



122



123



124

Configurations équivalentes

couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
couche 4 pleinement connectée 256x4
Softmax

couche 1 : 3 filtres de taille 7x7
couche 2 : 5 filtres de taille 9x9
couche 3 : 4 filtres de taille 11x11
couche 4 : 4 filtres de taille 8x8
Softmax

En fait, presque équivalent …

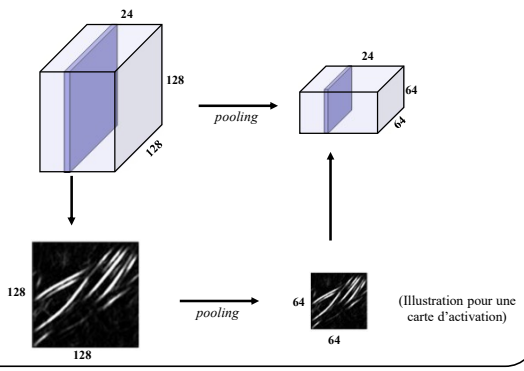
Question : qu'arrive-t-il si on remplace l'image 32x32x3 par une image 64x64x3?

125

Pooling

126

Réduction de la taille des cartes d'activation



127

Max pooling

1	2	4	4	9	3	1	2
6	7	8	4	-3	-3	6	3
9	-9	8	-4	5	5	3	0
8	-8	9	-9	5	5	0	1
0	0	1	2	7	9	7	8
-1	-3	3	6	8	8	7	6
9	9	8	2	1	5	-1	-1
1	1	-2	8	3	7	4	-2

Max pool par filtre « valid » 2x2 avec stride =2

7	8	9	6
9	9	5	3
0	6	9	8
9	8	7	4

128

Mean pooling

1	2	4	4	9	3	1	2
6	7	8	4	-3	-3	6	3
9	-9	8	-4	5	5	3	0
8	-8	9	-9	5	5	0	1
0	0	1	2	7	9	7	8
-1	-3	3	6	8	8	7	6
9	9	8	2	1	5	-1	-1
1	1	-2	8	3	7	4	-2

Moyenne par filtre « valid » 2x2 avec stride =2

4	5	3	4
0	1	5	1
-1	8	8	7
5	4	4	1

129

Max pooling

1	2	4	4	9	3	1	2
6	7	8	4	-3	-3	6	3
9	-9	8	-4	5	5	3	0
8	-8	9	-9	5	5	0	1
0	0	1	2	7	9	7	8
-1	-3	3	6	8	8	7	6
9	9	8	2	1	5	-1	-1
1	1	-2	8	3	7	4	-2

Max pooling 2x2
avec **stride =1**

?

130

Max pooling

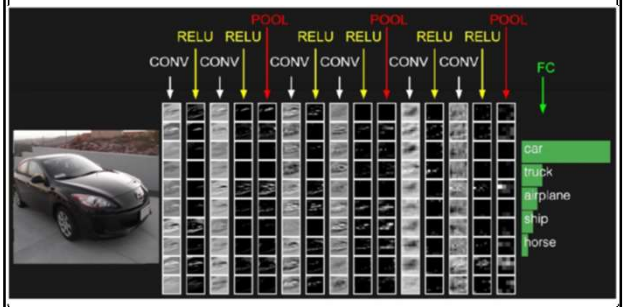
1	2	4	4	9	3	1	2
6	7	8	4	-3	-3	6	3
9	-9	8	-4	5	5	3	0
8	-8	9	-9	5	5	0	1
0	0	1	2	7	9	7	8
-1	-3	3	6	8	8	7	6
9	9	8	2	1	5	-1	-1
1	1	-2	8	3	7	4	-2

Max pooling **3x3**
avec **stride =2**

?

131

Illustration d'un CNN complet



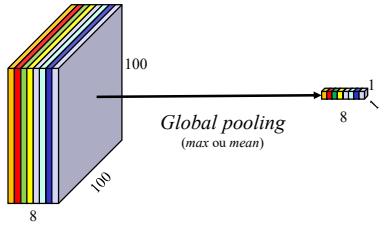
Crédit : cs231 Stanford

132

Global pooling

Max ou *Mean pooling* « *valid* » avec un filtre de la taille des canaux

Résultat : un **vecteur** de la taille du nombre de canaux



133

Multiplication matricielle parcimonieuse

https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-introduction-to-different-types-of-convolutions-in-deep-learning-669281e58215

134

Il est **plus rapide** de multiplier des matrices que de les convoluer.

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

*

Filtre

W0	W1	W2
W3	W4	W5
W6	W7	W8

=

Y1	Y2
Y3	Y4

135

Il est **plus rapide** de multiplier des matrices que de les convoluer.

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

*

Filtre

W0	W1	W2
W3	W4	W5
W6	W7	W8

=

Y0	Y1
Y2	Y3

On peut **remplacer** une **convolution** par une **multiplication matrice-matrice** ou **matrice-vecteur**
De façons :

1- en **linéarisant** l'entrée et en « **matriçant** » le filtre
2- en **linéarisant** le filtre et en « **matriçant** » l'entrée

136

Rappel

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

W0	W1	W2	X3
W3	W4	W5	X7
W6	W7	W8	X11
X12	X13	X14	X15

Y0	Y1
Y2	Y3

Y0=W0.X0+W1.X1+W2.X2+W3.X4+W4.X5+W5.X6+W6.X8+W7.X9+W8.X10

137

Rappel

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

X0	W0	W1	W2
X4	W3	W4	W5
X8	W6	W7	W8
X12	X13	X14	X15

Y0	**Y1**
Y2	Y3

Y1=W0.X1+W1.X2+W2.X3+W3.X5+W4.X6+W5.X7+W6.X9+W7.X10+W8.X11

138

Rappel

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

X0	X1	X2	X3
W0	W1	W2	X7
W3	W4	W5	X11
W6	W7	W8	X15

Y0	Y1
Y2	Y3

Y2=W0.X4+W1.X5+W2.X6+W3.X8+W4.X9+W5.X10+W6.X12+W7.X13+W8.X14

139

Rappel

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

X0	X1	X2	X3
X4	W0	W1	W2
X8	W3	W4	W5
X12	W6	W7	W8

Y0	Y1
Y2	**Y3**

Y3=W0.X5+W1.X6+W2.X7+W3.X9+W4.X10+W5.X11+W6.X13+W7.X14+W8.X15

140

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, filtre 3x3

W0	W1	W2	0	W3	W4	W5	0	W6	W7	W8	0	0	0	0	0
0	W0	W1	W2	0	W3	W4	W5	0	W6	W7	W8	0	0	0	0
0	0	0	0	W0	W1	W2	0	W3	W4	W5	0	W6	W7	W8	0
0	0	0	0	0	W0	W1	W2	0	W3	W4	W5	0	W6	W7	W8

x

X0
X1
X2
X3
X4
X5
X6
X7
X8
X9
X10
X11
X12
X13
X14
X15

=

Y0
Y1
Y2
Y3

141

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, **filtre 2x2**

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

*

Filtre

W0	W1
W2	W3

=

Y0	Y1	Y2
Y3	Y4	Y5
Y6	Y7	Y8

142

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et une carte d'activation, **filtre 2x2**

W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	W0	W1	0	0	W2	W3

x

X0
X1
X2
X3
X4
X5
X6
X7
X8
X9
X10
X11
X12
X13
X14
X15

=

Y0
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y6
Y7
Y8

143

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et **deux cartes d'activation**, filtre 2x2

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

*

Filtre

W0	W1
W2	W3

W4	W5
W6	W7

=

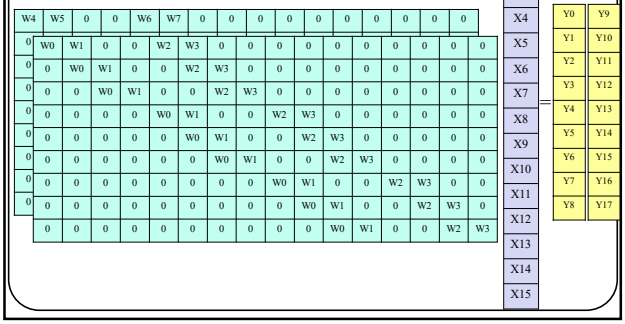
Y0	Y1	Y2
Y3	Y4	Y5
Y6	Y7	Y8

Y9	Y10	Y11
Y12	Y13	Y14
Y15	Y16	Y17

144

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée et **deux cartes d'activation**, filtre 2x2



145

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée, une carte d'activation, filtre 2x2 ***mini-batch* de 2 entrées**.

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15
X16	X17	X18	X19
X20	X21	X22	X23
X24	X25	X26	X27
X28	X29	X30	X21

*

Filtre

W0	W1
W2	W3

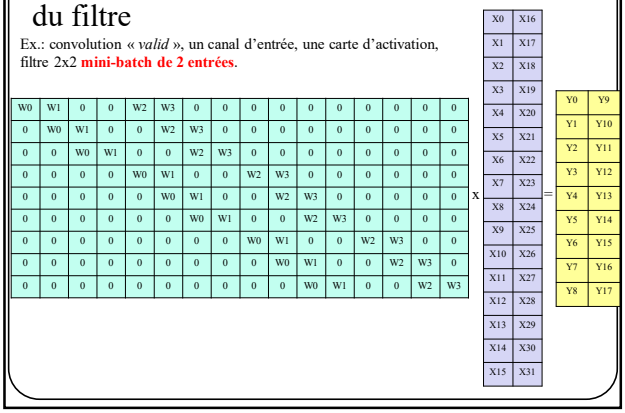
=

Y0	Y1	Y2
Y3	Y4	Y5
Y6	Y7	Y8
Y9	Y10	Y11
Y12	Y13	Y14
Y15	Y16	Y17

146

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », un canal d'entrée, une carte d'activation, filtre 2x2 **mini-batch de 2 entrées**.



147

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », **2 canaux d'entrée**, une carte d'activation,
filtre 2x2 **mini-batch de 1 entrée**.

Entrée

X0	X1	X2
X3	X4	X5
X6	X7	X8

X9	X10	X11
X12	X13	X14
X15	X16	X17

*

Filtre

W0	W1
W2	W3

W4	W5
W6	W7

=

Y0	Y1
Y2	Y3

148

Linéarisation de l'entrée et « matriçage » du filtre

Ex.: convolution « *valid* », **2 canaux d'entrée**, une carte d'activation,
filtre 2x2 **mini-batch de 1 entrée**.

W0	W1	0	W2	W3	0	0	0	0	W4	W5	0	W6	W7	0	0	0	0
0	W0	W1	0	W2	W3	0	0	0	0	W4	W5	0	W6	W7	0	0	0
0	0	0	W0	W1	0	W2	W3	0	0	0	0	W4	W5	0	W6	W7	0
0	0	0	0	W0	W1	0	W2	W3	0	0	0	0	W4	W5	0	W6	W7

x

X0
X1
X2
X3
X4
X5
X6
X7
X8
X9
X10
X11
X12
X13
X14
X15
X16
X17

=

Y0
Y1
Y2
Y3

149

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

*

Filtre

W0	W1	W2
W3	W4	W5
W6	W7	W8

=

Y0	Y1
Y2	Y3

150

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

X0
X1
X2
X4
X5
X6
X8
X9
X10

151

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

X0	X1
X1	X2
X2	X3
X4	X5
X5	X6
X6	X7
X8	X9
X9	X10
X10	X11

152

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

X0	X1	X4
X1	X2	X5
X2	X3	X6
X4	X5	X8
X5	X6	X9
X6	X7	X10
X8	X9	X11
X9	X10	X12
X10	X11	X13

153

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

Entrée

X0	X1	X2	X3
X4	X5	X6	X7
X8	X9	X10	X11
X12	X13	X14	X15

X0	X1	X4	X5
X1	X2	X5	X6
X2	X3	X6	X7
X4	X5	X8	X9
X5	X6	X9	X10
X6	X7	X10	X11
X8	X9	X11	X13
X9	X10	X12	X14
X10	X11	X13	X15

154

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Ex.: convolution « *valid* »

W0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8

x

X0	X1	X4	X5
X1	X2	X5	X6
X2	X3	X6	X7
X4	X5	X8	X9
X5	X6	X9	X10
X6	X7	X10	X11
X8	X9	X11	X13
X9	X10	X12	X14
X10	X11	X13	X15

=

Y1	Y2	Y3	Y4

155

Ou encore…

Ex.: convolution « *valid* »

X0	X1	X2	X4	X5	X6	X8	X9	X10
X1	X2	X3	X5	X6	X7	X9	X10	X11
X4	X5	X6	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X5	X6	X7	X9	X10	X11	X13	X14	X15

x

W0
W1
W2
W3
W4
W5
W6
W7
W8

=

Y0
Y1
Y2
Y3

156

On peut faire la même chose mais en **linéarisant le filtre** et en **« matriçant » l'entrée**

Exercice à la maison, voir comment cette 2e approche s'applique au cas à

- Plusieurs canaux en entrée
- Plusieurs cartes d'activation
- Plusieurs entrées (mini-batch)

Sinon, voir **im2col** du **travail pratique 2**.

157

Comment calculer la rétropropagation dans un CNN?

À faire au TP2

158