

IFT 615 – Intelligence artificielle

Vision par ordinateur

Hugo Larochelle

Département d'informatique

Université de Sherbrooke

<http://www.dmi.usherb.ca/~larocheh/cours/ift615.html>

Sujets couverts

- Opérations bas niveau sur les images
 - ◆ détection de contour
 - ◆ calcul de gradients d'image
- Reconnaissance d'objets
 - ◆ à base de caractéristiques (histogramme de gradients)
 - ◆ à l'aide d'un réseau de neurones à convolution

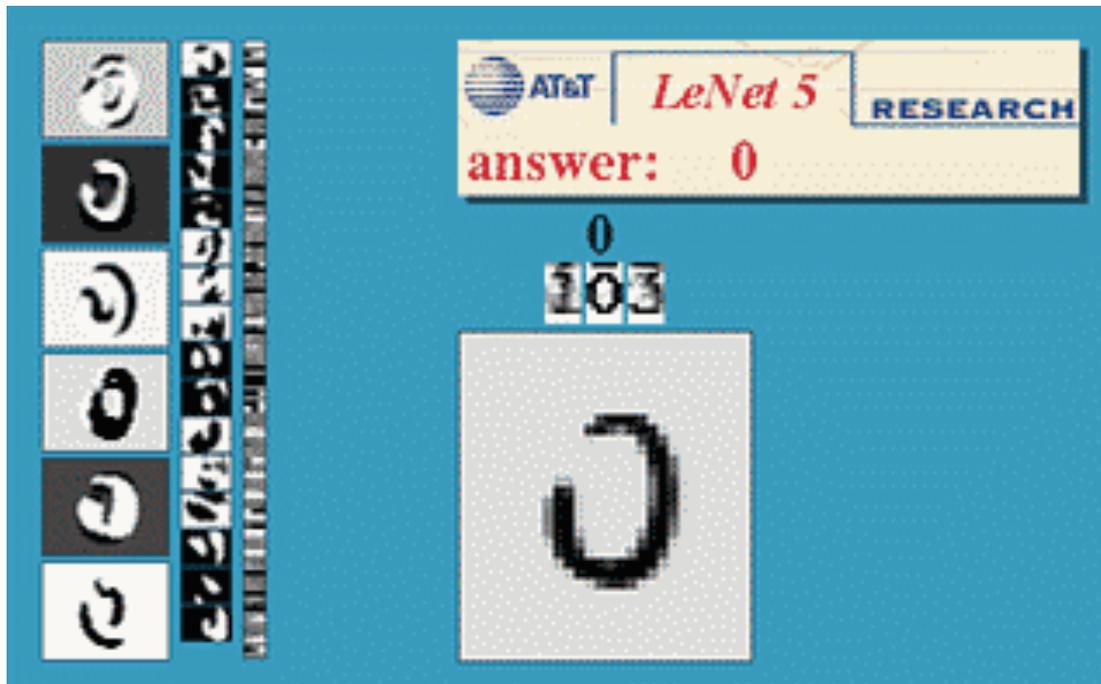
Mise en situation

- La vue est un sens très utile à la survie d'un organisme
 - ◆ apporte beaucoup d'information sur son environnement (nourriture, prédateur, etc.)
- Presque toutes les créatures intelligentes sont dotées de vision
- Chez l'humain $\approx 30\%$ du cerveau sert à la vision
 - ◆ pour l'ouïe, c'est $\approx 8\%$
 - ◆ pour le touché, c'est $\approx 3\%$
- Ça donne une idée de la complexité de la tâche à résoudre...

Mise en situation

- Applications liées à la vision par ordinateur

Reconnaissance de caractères



Mise en situation

- Applications liées à la vision par ordinateur

Recherche d'images par contenu

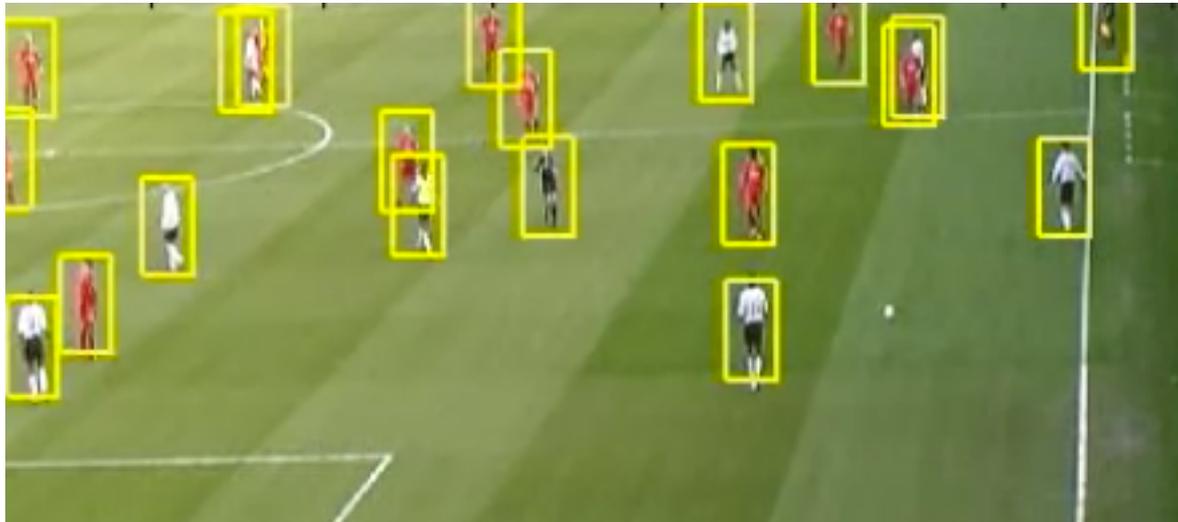


<http://images.google.com/>

Mise en situation

- Applications liées à la vision par ordinateur

Suivi d'objets



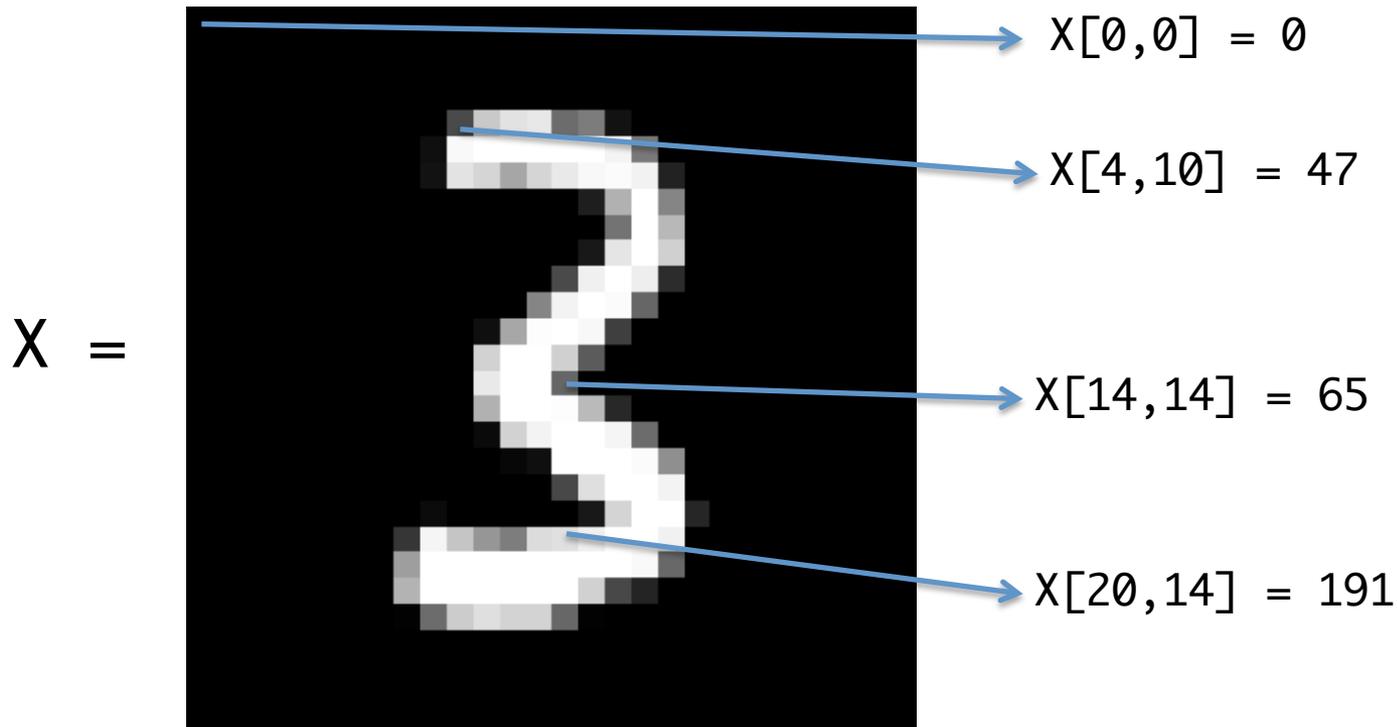
<http://www.youtube.com/watch?v=fRowYlxKt7s>

Dans ce cours...

- On va voir comment on manipule des images
 - ◆ quelle représentation de base utiliser
 - ◆ quel genre de prétraitements sont utiles
- L'objectif est d'avoir une vue d'ensemble des approches suivies en vision par ordinateur
- On va discuter des concepts fréquemment utilisés en vision
 - ◆ convolution
 - ◆ gradients d'image
 - ◆ histogramme
 - ◆ « pooling »

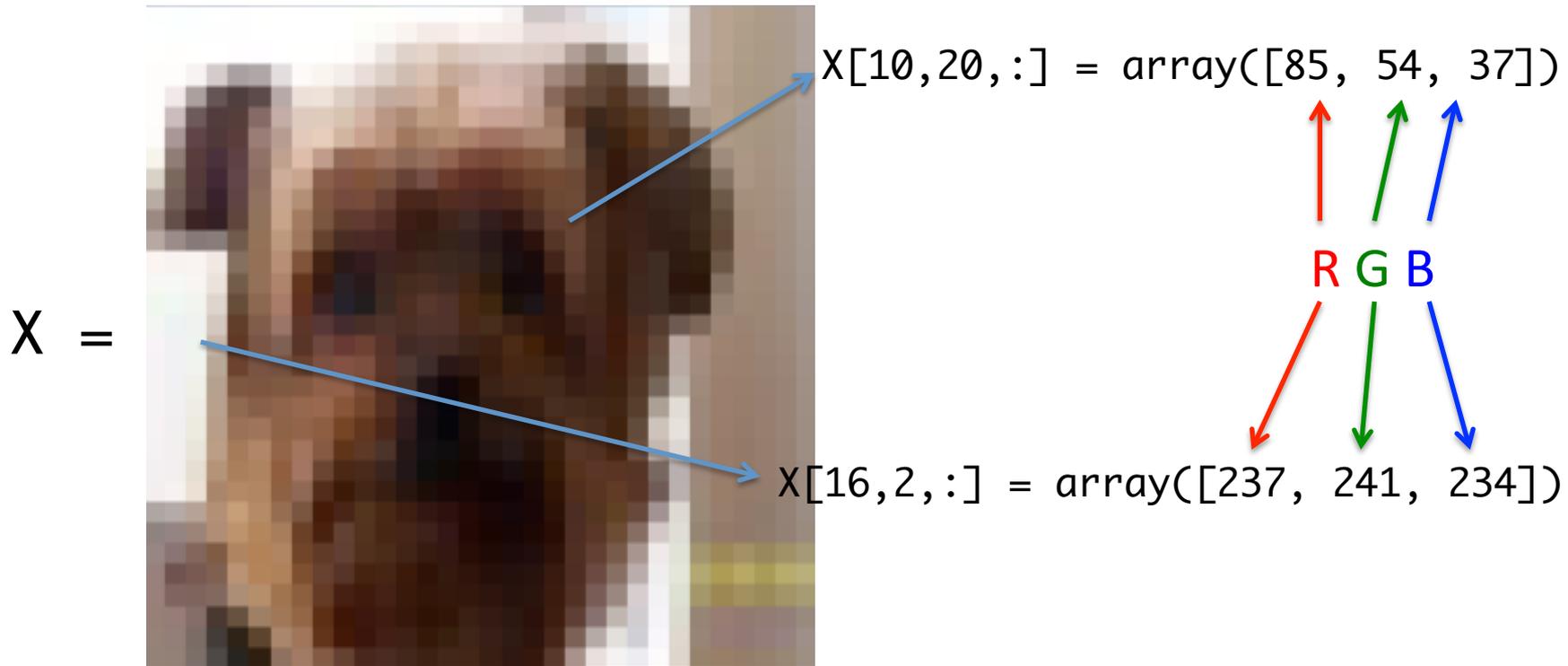
Représentation brute d'une image

- Image en niveau de gris: tableau à 2D de pixels, entiers positifs de 8 bits



Représentation brute d'une image

- Image en couleur: tableau à 3D de pixels RGB, entiers positifs de 8 bits



Opérations bas niveau sur les images

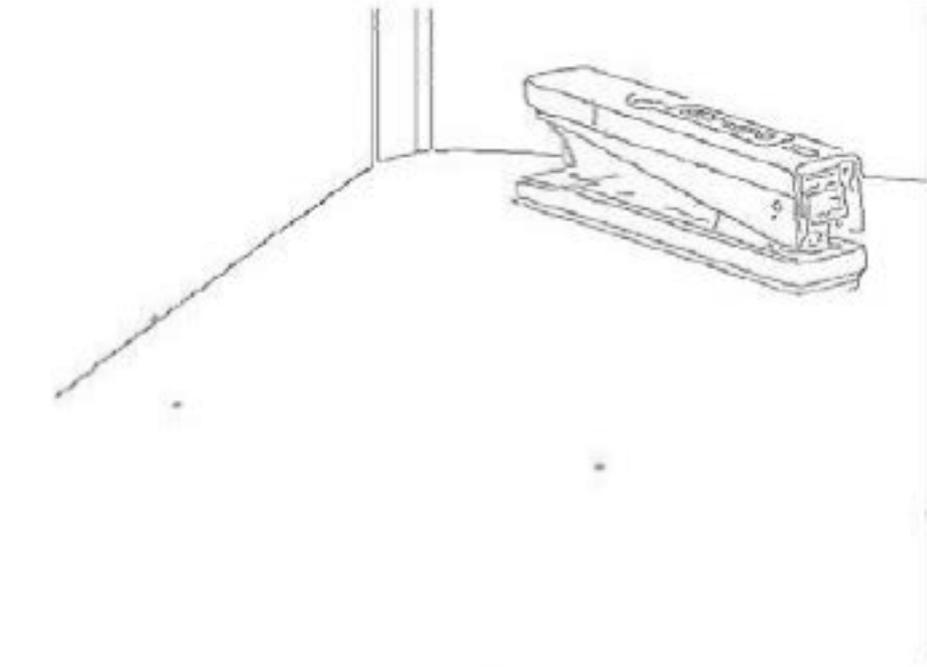
- La représentation sous forme de pixels a des désavantages
 - ◆ elle est lourde, c.-à-d. coûteuse en mémoire
 - » 1024x1024 pixels de 8 bits (en niveau de gris) = 1 MB / image
 - » 1024x1024 pixels de 24bits (canaux RGB) = 3 MB / image
 - ◆ elle contient plus d'information qu'on en a besoin
 - » pour détecter une voiture dans une image, la couleur n'est pas utile
 - » la scène (arrière plan) dans laquelle se trouve un objet à détecter peut être ignorée
- On aimerait appliquer des **opérations bas niveau simples (prétraitement)** sur les images, afin d'y **extraire l'information pertinente** pour la tâche à résoudre

Détection de contour

- Un contour est un changement soudain dans l'intensité/couleur de pixels adjacents



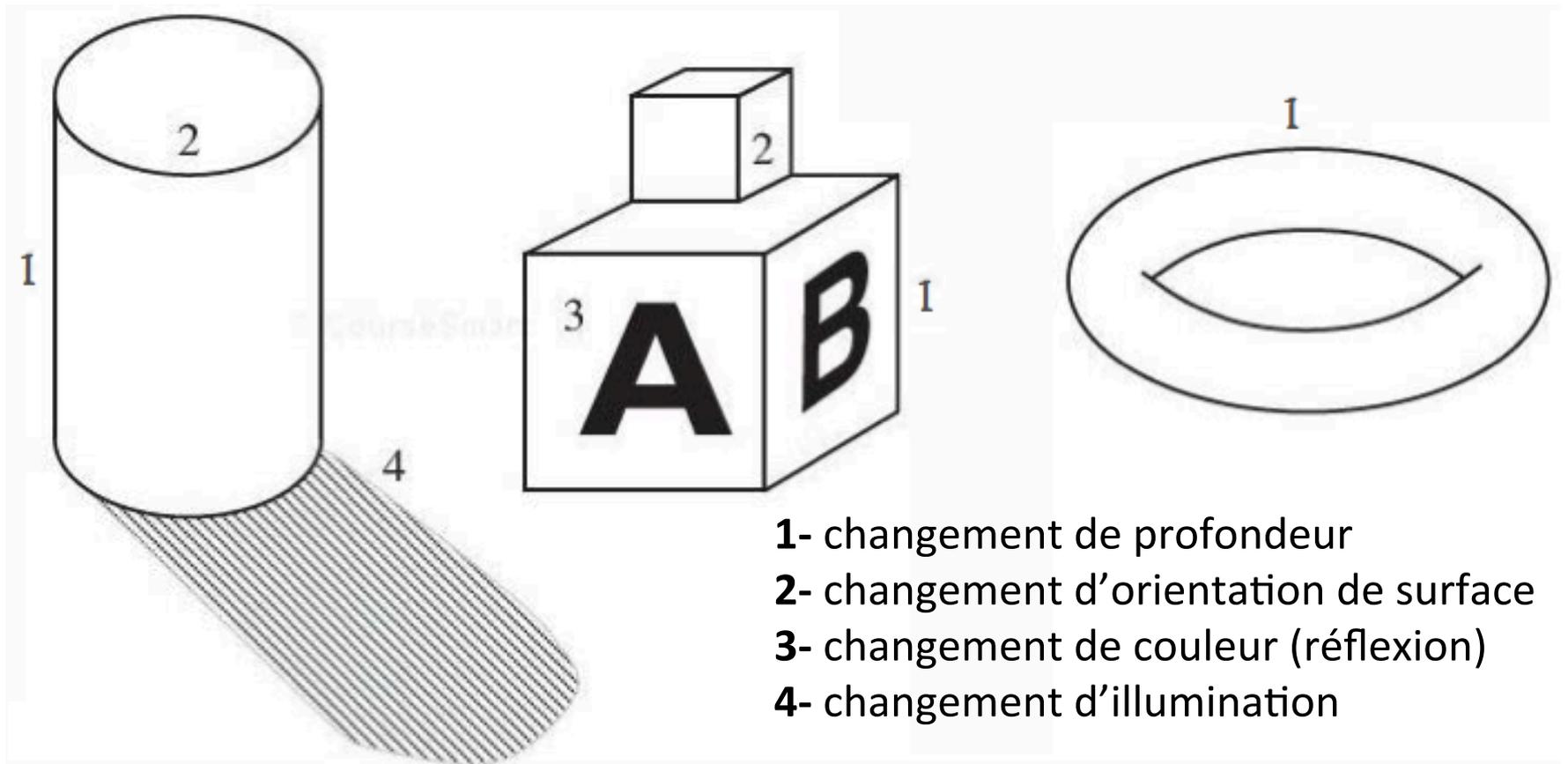
image originale



extraction des contours

Détection de contour

- Qu'est-ce qui cause des contours?

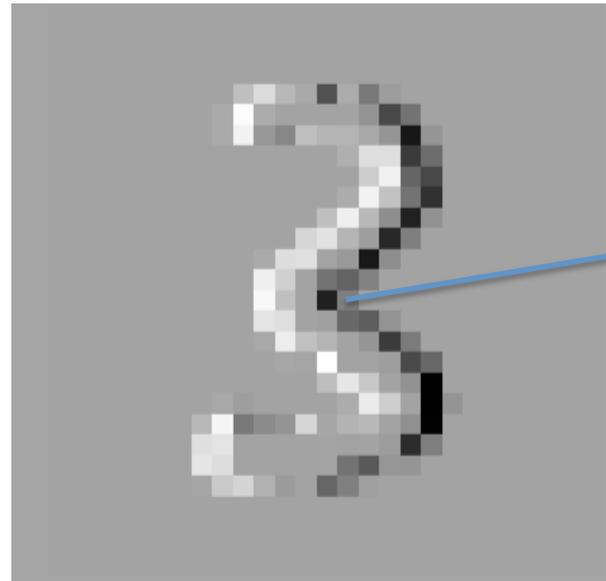


Gradient d'image

- Pour détecter si un pixel est sur la frontière d'un contour, on peut regarder la valeur relative des pixels autour de ce pixel
- Exemple: variation **horizontale** $H[i, j] = X[i, j+1] - X[i, j]$



X

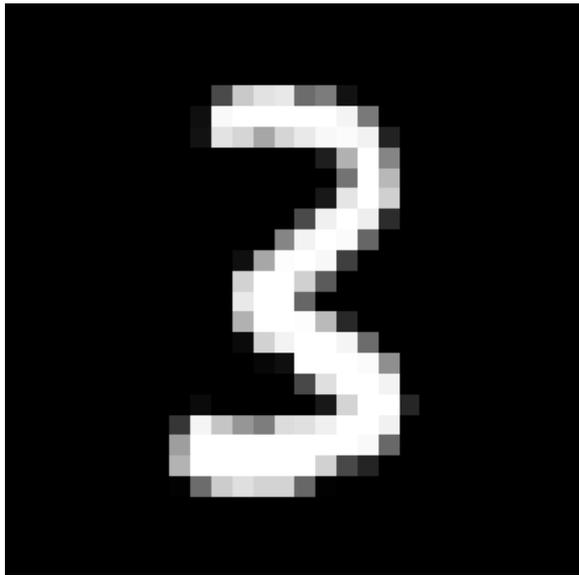


H

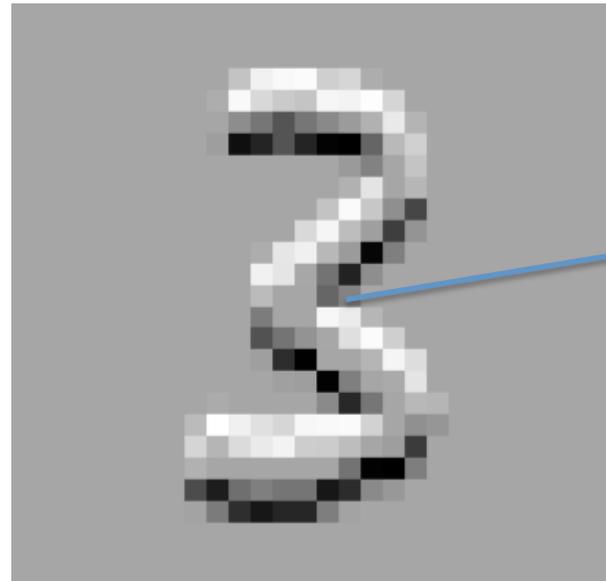
$$H[14, 14] = X[14, 15] - X[14, 14]$$

Gradient d'image

- Pour détecter si un pixel est sur la frontière d'un contour, on peut regarder la valeur relative des pixels autour de ce pixel
- Exemple: variation **vertical** $V[i, j] = X[i+1, j] - X[i, j]$



X



V

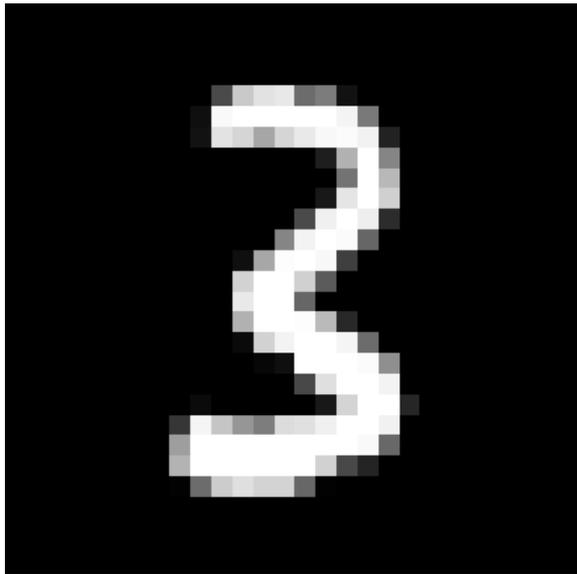
$V[14, 14] =$
 $X[15, 14] -$
 $X[14, 14]$

Gradient d'image

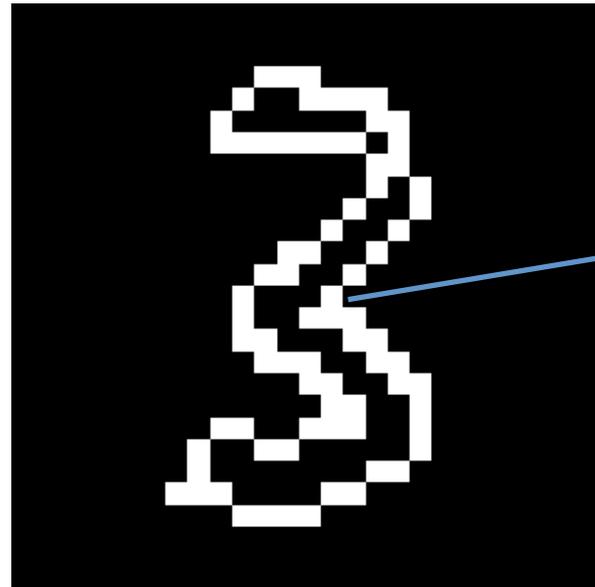
- Un pixel ferait partie d'un contour si la somme des variations (positive ou négative) horizontale et verticale est élevée

$$E[i, j] = \text{sqrt}(V[i, j]**2 + H[i, j]**2)$$

- On applique un seuil pour déterminer si contour ou pas



X



$E > 0.5$

$E[14, 14] > 0.5$

Gradient d'image

- On peut voir le calcul des variations comme des dérivées partielles
- La « fonction » $f(a, b)$ serait la valeur de l'image à la position (a, b)

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial b} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{f(a, b + \Delta) - f(a, b)}{\Delta} \approx \underbrace{X[i, j+1] - X[i, j]}_{\Delta = 1} = H[i, j]$$

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial a} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{f(a + \Delta, b) - f(a, b)}{\Delta} \approx \overbrace{X[i+1, j] - X[i, j]}^{\Delta = 1} = V[i, j]$$

Gradient d'image

- Si H et V sont les dérivées partielles de l'image, alors

$$G[i, j, :] = [H[i, j], V[i, j]]$$

est le **gradient de l'image**, à la position (i, j)

- La détection des contours vue précédemment calculait donc la norme euclidienne de ces gradients

$$E[i, j] = \sqrt{V[i, j]**2 + H[i, j]**2} = \underbrace{\sqrt{\text{sum}(G[i, j, :]**2)}}_{\text{norme du vecteur } G[i, j, :]}$$

- On peut visualiser ce gradient (vecteur) à chaque pixels

Champ de vecteurs gradient

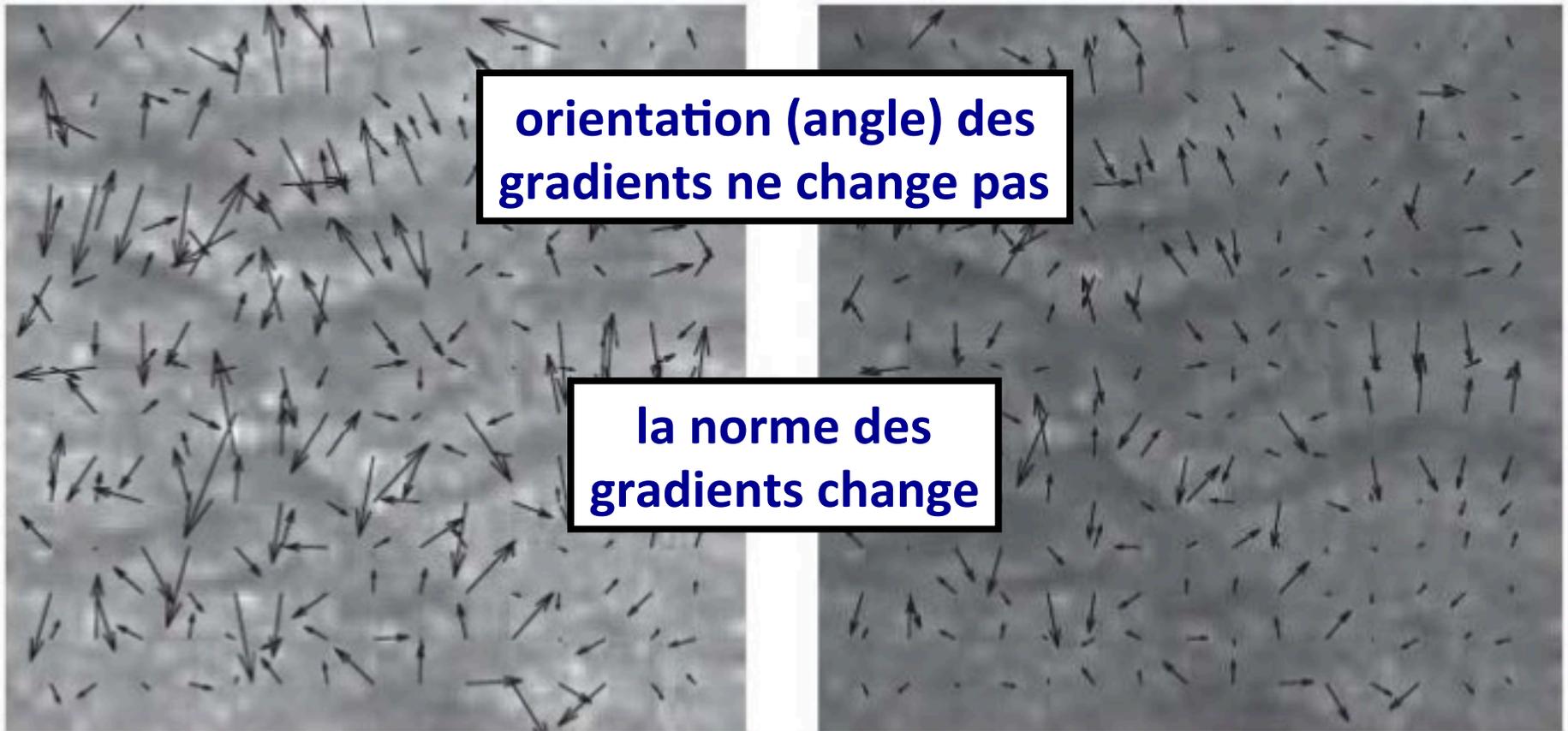
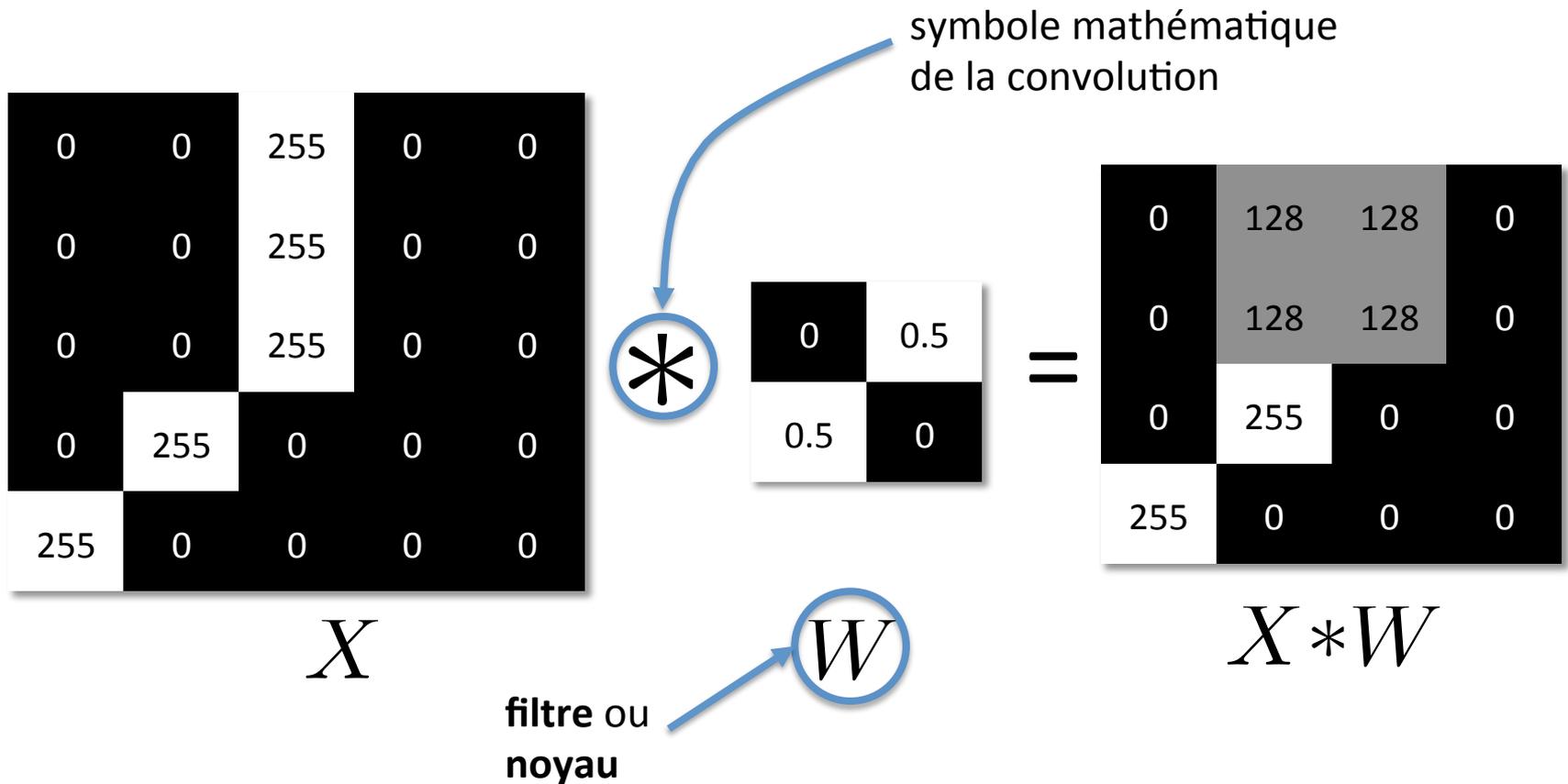


image X

image X avec moins d'illumination

Convolution

- Le calcul des tableaux H et V peut être vu comme l'application d'une **convolution**



Convolution

- Le calcul des tableaux H et V peut être vu comme l'application d'une **convolution**
- On calcule le résultat C d'une convolution d'un **filtre** ou **noyau** W de taille h par w sur une image X comme suit

```
def convolution(X,W):  
    h,w = W.shape  
    C = zeros((X.shape[0]-h+1,X.shape[1]-w+1))  
    for i in range(X.shape[0]-h+1):  
        for j in range(X.shape[1]-w+1):  
            C[i,j] = sum(X[i:i+h,j:j+w] * W)  
    return C
```

Convolution

- Calculer H est l'équivalent de faire une convolution avec le filtre $W = \text{array}([[[-1, 1]]])$

The diagram illustrates the convolution of a 5x5 input matrix X with a 1x2 kernel W to produce a 5x5 output matrix $X * W$.

Input Matrix X :

0	0	255	0	0
0	0	255	0	0
0	0	255	0	0
0	255	0	0	0
255	0	0	0	0

Kernel W :

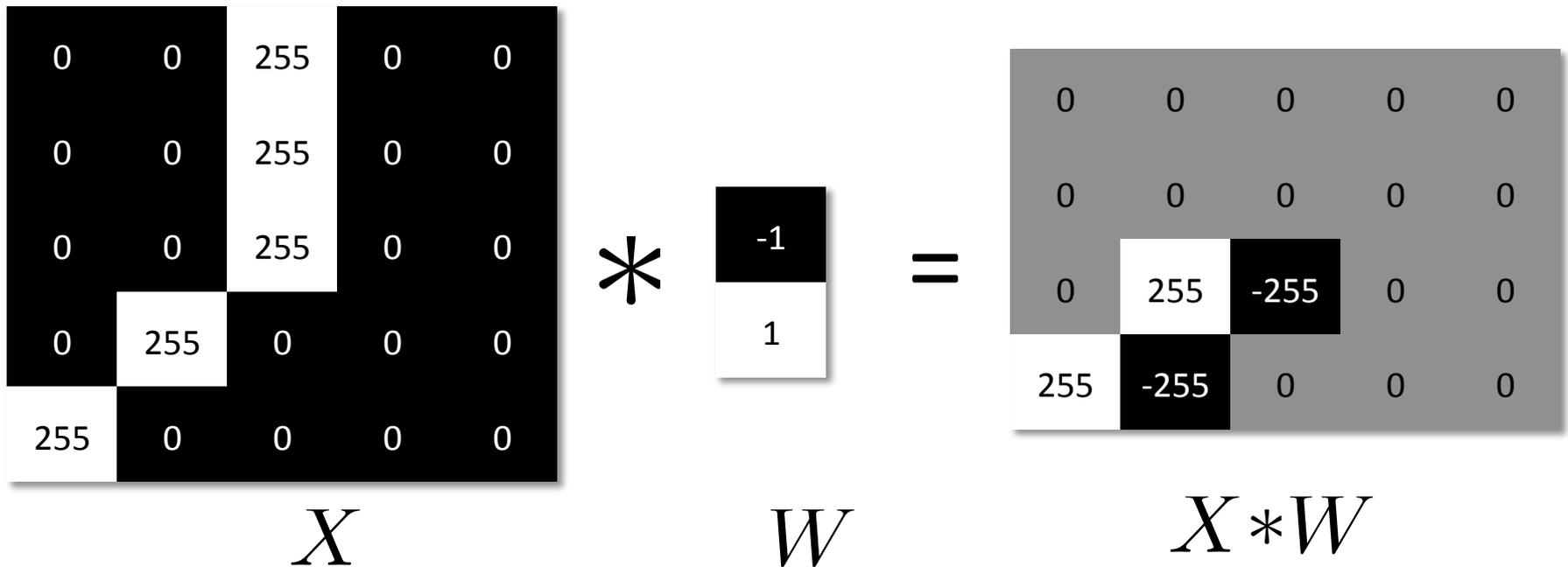
-1	1
----	---

Output Matrix $X * W$:

0	255	-255	0	0
0	255	-255	0	0
0	255	-255	0	0
255	-255	0	0	0
-255	0	0	0	0

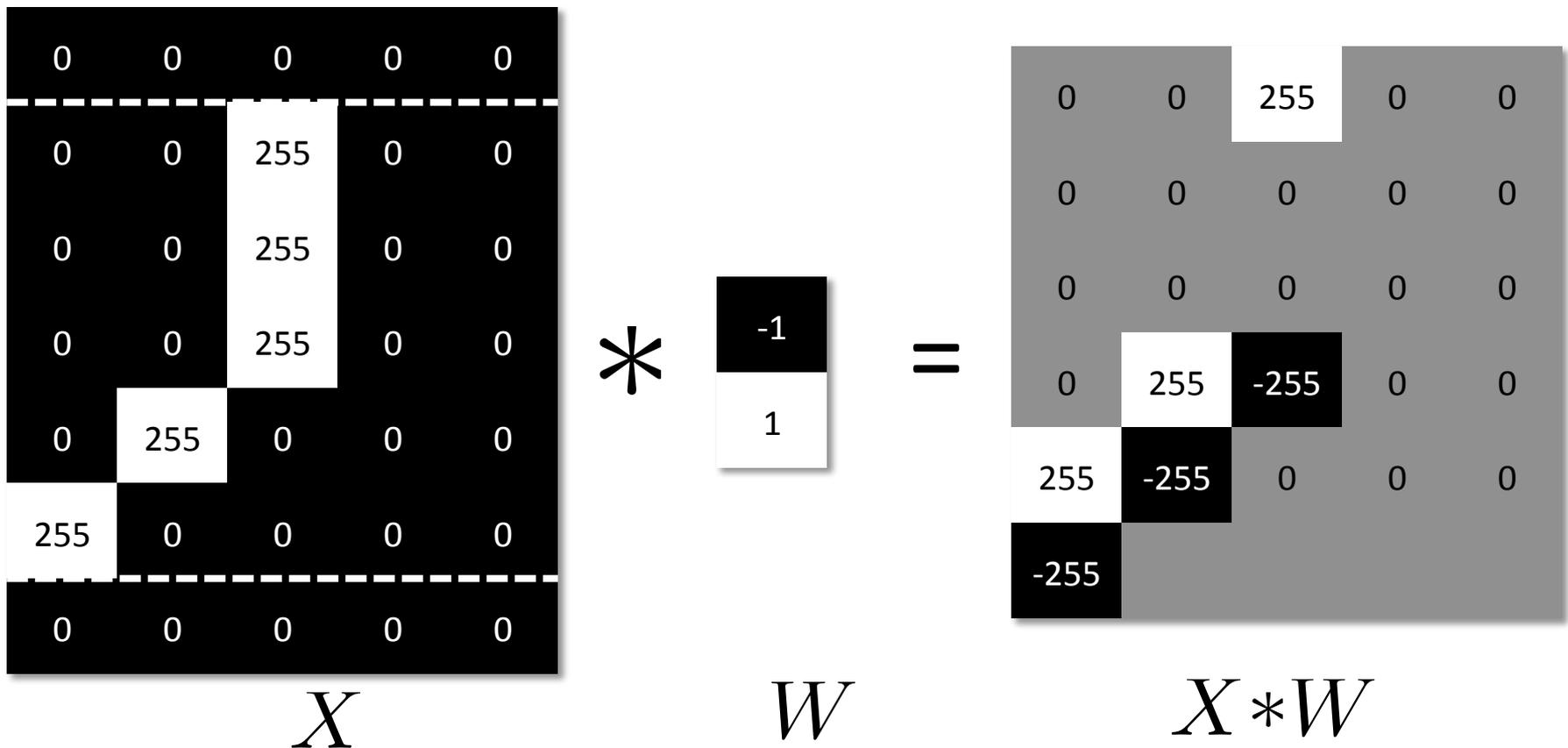
Convolution

- Calculer V est l'équivalent de faire une convolution avec le filtre $W = \text{array}([[[-1], [1]]])$



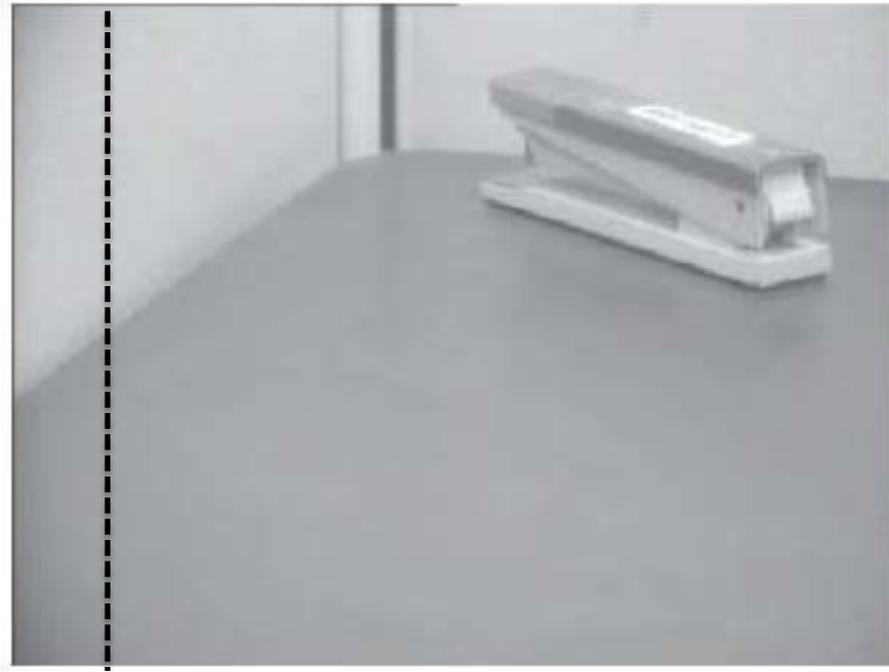
Convolution

- Afin d'appliquer le filtre à toutes les positions dans l'image, on ajoute parfois les zéros nécessaire autour de l'image (*zero padding*)



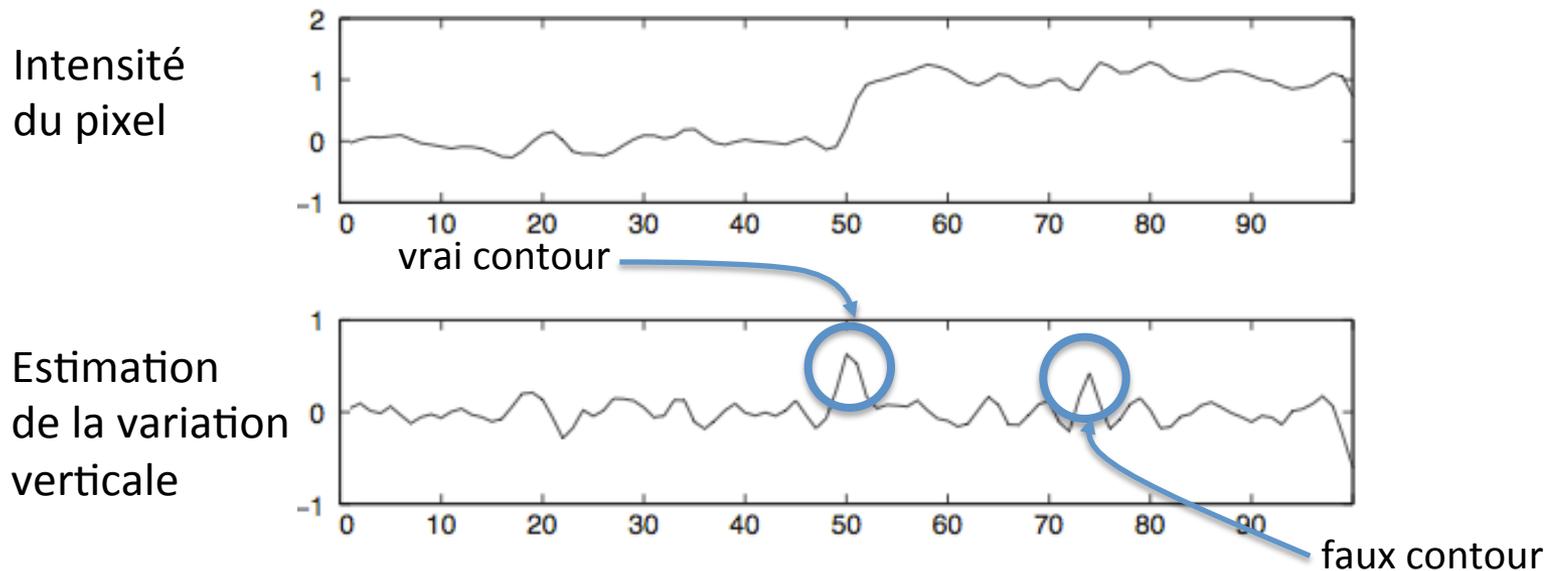
Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Sur de vrais images, l'estimation des variations sera bruitée



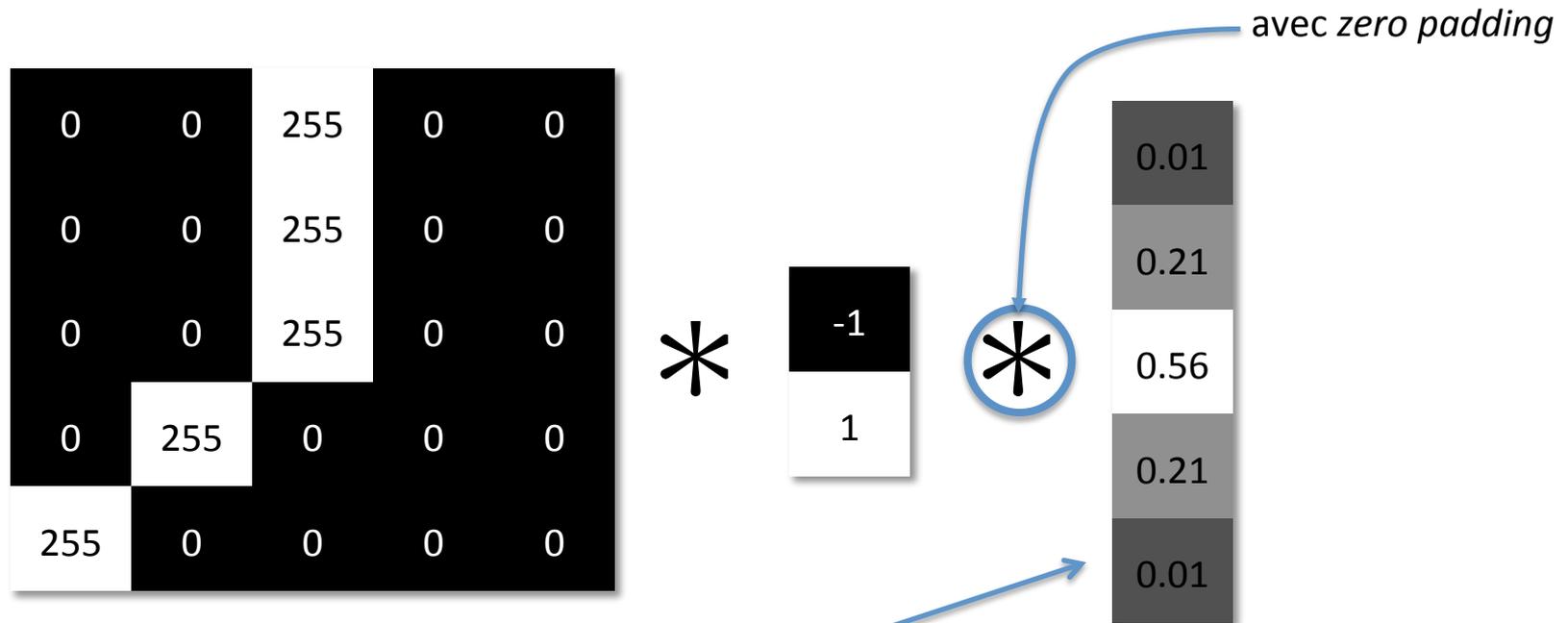
Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Sur de vrais images, l'estimation des variations sera bruitée



Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Pour éliminer la détection de ces faux contours, on applique une deuxième convolution pour **lisser** le résultat



- Le filtre utilisé est appelé **filtre gaussien**

Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Pour éliminer la détection de ces faux contours, on applique une deuxième convolution pour **lisser** le résultat

0.01	= $\exp(-2^2) / Z$
0.21	= $\exp(-1^2) / Z$
0.56	= $\exp(-0^2) / Z$
0.21	= $\exp(-1^2) / Z$
0.01	= $\exp(-1^2) / Z$

constante de normalisation

$$Z = \exp(-2^2) + \exp(-1^2) + \exp(-0^2) + \exp(-1^2) + \exp(-2^2)$$

Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Pour éliminer la détection de ces faux contours, on applique une deuxième convolution pour **lisser** le résultat

0.01	= $\exp(-2^2) / Z$
0.21	= $\exp(-1^2) / Z$
0.56	= $\exp(-0^2) / Z$
0.21	= $\exp(-1^2) / Z$
0.01	= $\exp(-1^2) / Z$

Formule générale du filtre gaussien

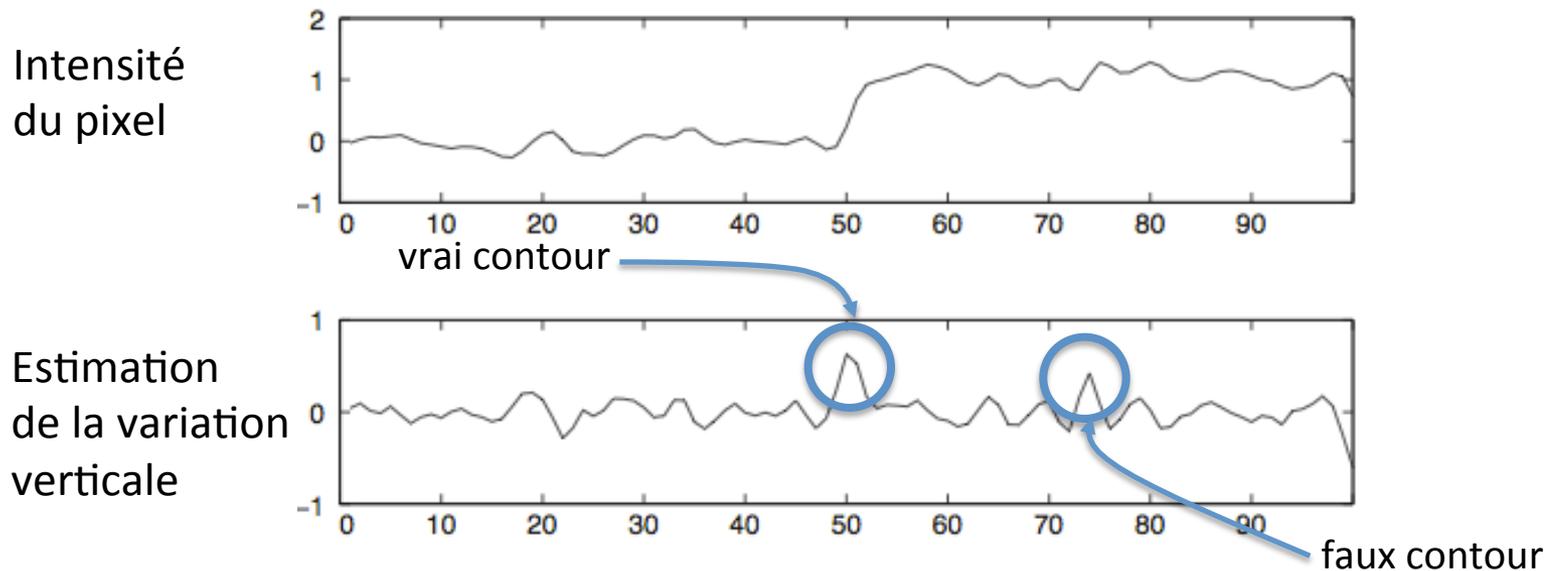
$$W[i, j] = \exp(-d(i, j)^2 / \sigma^2) / Z$$

$d(i, j)$ = distance p/r au centre du filtre

σ = paramètre de lissage
(plus il est grand, plus on lisse)

Bruit dans le calcul du gradient d'image

- Sur de vrais images, l'estimation des variations sera bruitée



Si on va plus loin...

- L'estimation des gradients tel que présentée ($X[i, j+1] - X[i, j]$) peut être améliorée
 - ◆ voir les filtres de Sobel (*Sobel operator*)
http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_operator
- La détection des contours à l'aide d'un simple seuil peut être améliorée
 - ◆ voir le filtre de Canny (*Canny edge detector*)
http://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector
- On peut extraire à partir des contours l'information sur la présence de ligne droites ou de cercles (ex.: un robot qui veut détecter les limites d'une pièce)
 - ◆ http://en.wikipedia.org/wiki/Hough_transform

Caractéristiques d'images

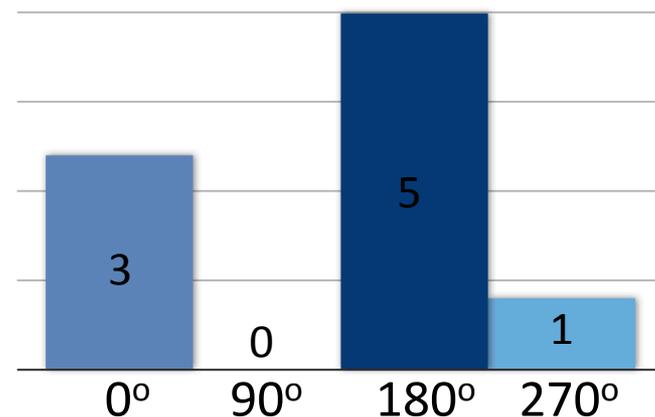
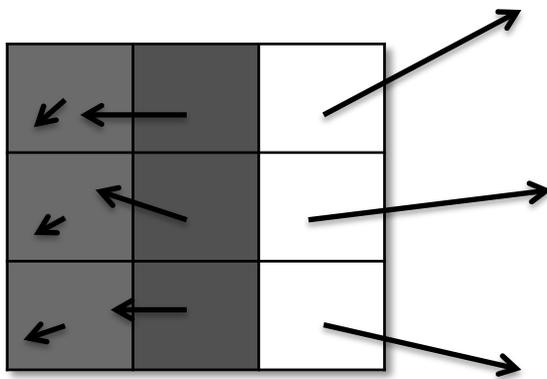
- En plus de servir à détecter des contours, les gradients d'image peuvent servir à **extraire des caractéristiques** d'une image
- On a vu que l'orientation des gradients ne varie pas en fonction de l'intensité
 - ◆ on pourrait utiliser cette propriété pour obtenir des caractéristiques invariantes p/r à l'intensité d'une image (ex.: l'illumination)

Histogramme de gradients

- Un type de caractéristiques populaire est l'**histogramme de gradients** (*histogram of gradients* ou **HoG**)
 - ◆ calculer le **champ de gradients** de l'image
 - ◆ partitionner (diviser) l'image en plusieurs **segments** (*cell*)
 - ◆ dans chaque segment, faire un **histogramme** des orientations des gradients contenus dans ce segment
 - ◆ le vecteur de caractéristiques pour l'image est la concaténation de tous ces histogrammes

Histogramme de gradients

- Pour calculer un histogramme d'orientations
 - ◆ on partitionne les orientations possibles en quelques cases (ex. 4 cases à 0° , 90° , 180° et 270° , ou 8 cases à 0° , 45° , ..., 315°)
 - ◆ la valeur de chaque case est le compte du nombre de gradients qui tombent dans chaque case
 - » chaque gradient « vote » pour l'orientation la plus proche

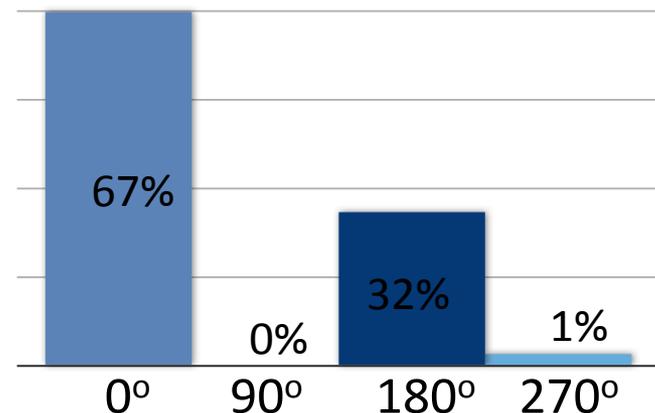
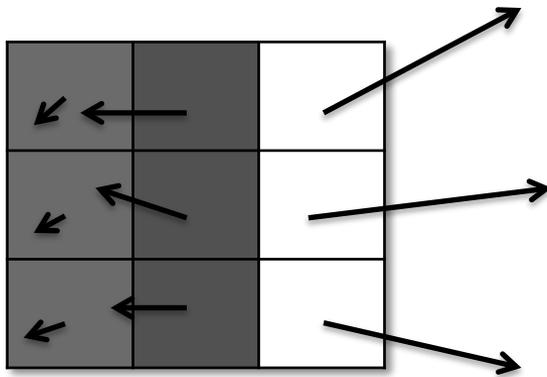


Histogramme de gradients

- Façon de tenir compte de la grandeur (norme) du gradient
 - ◆ on peut ajouter une case additionnelle pour les gradients dont la norme est sous un seuil donné
 - ◆ on utilise un poids C du vote d'un gradient $G[i, j, :]$ comme suit

$$c[i, j] = \text{sqrt}(\text{sum}(G[i, j, :]**2)) / N$$

où N est la somme des normes dans le segment où se trouve $G[i, j, :]$



Histogramme de gradients

- Avoir une case pour les gradient trop petits permet de mieux représenter les régions uniformes (où tous les gradients sont petits)
- Utiliser un vote normalisé par la somme des normes de gradient donne une représentation plus invariante p/r à l'illumination
- Les deux idées peuvent être combinées

Histogramme de gradients

- Exemple sur une image de personne



Image



Orientation histograms

illustre la
perpendiculaire
du gradient, pour
faciliter
la visualisation

Histogramme de gradients

- On peut alors traiter le problème de reconnaissance d'objets comme un problème de classification standard en apprentissage automatique
 - ◆ entrée x_t : représentation HoG d'une image
 - ◆ cible y_t : présence ($y_t=1$) ou absence ($y_t=0$) d'un objet à reconnaître
- On peut ainsi collecter un ensemble d'entraînement à donner à un algorithme d'apprentissage pour la classification
(Perceptron, régression linéaire, réseau de neurones, etc.)

Histogramme de gradients

- Visualisation des orientations importantes, apprises par un classifieur linéaire



Image



Orientation histograms

Visualisation des poids du classifieur



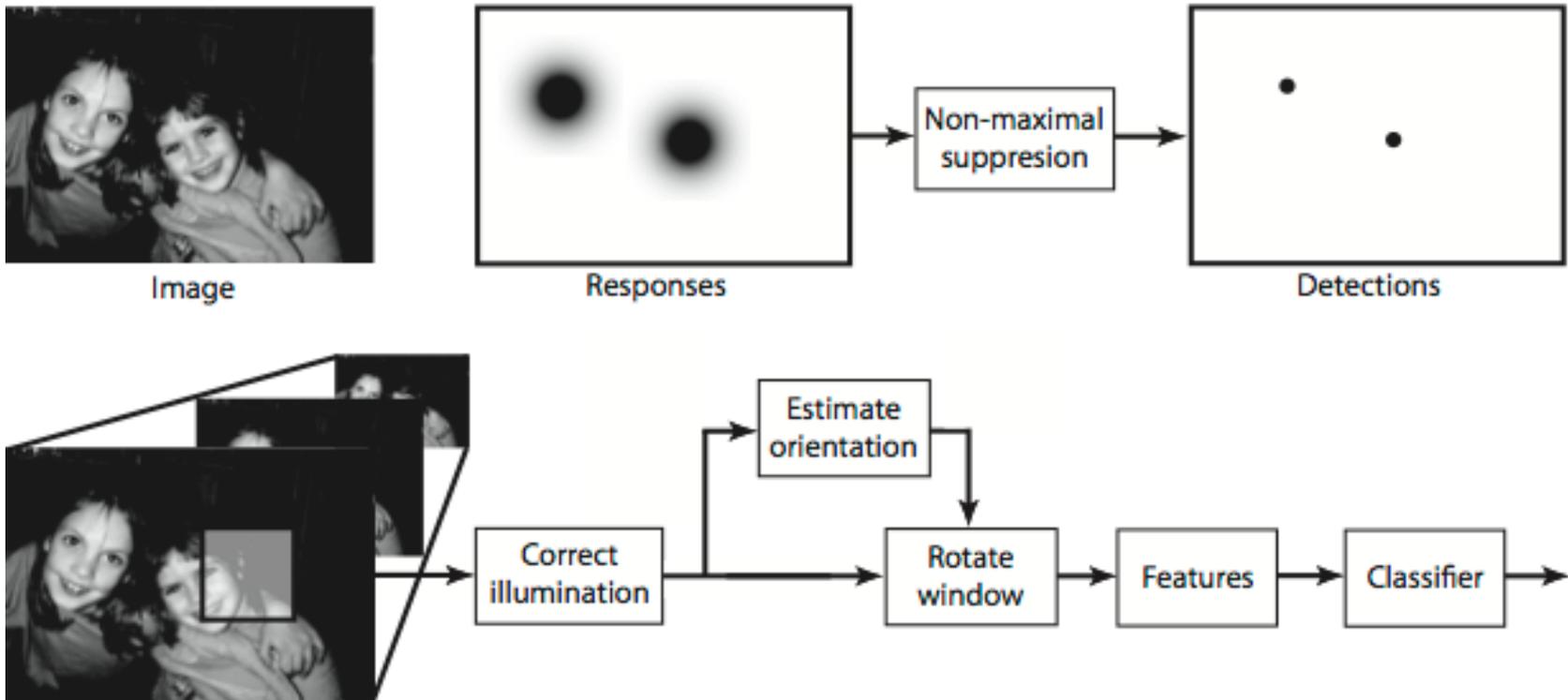
poids positifs



poids négatifs

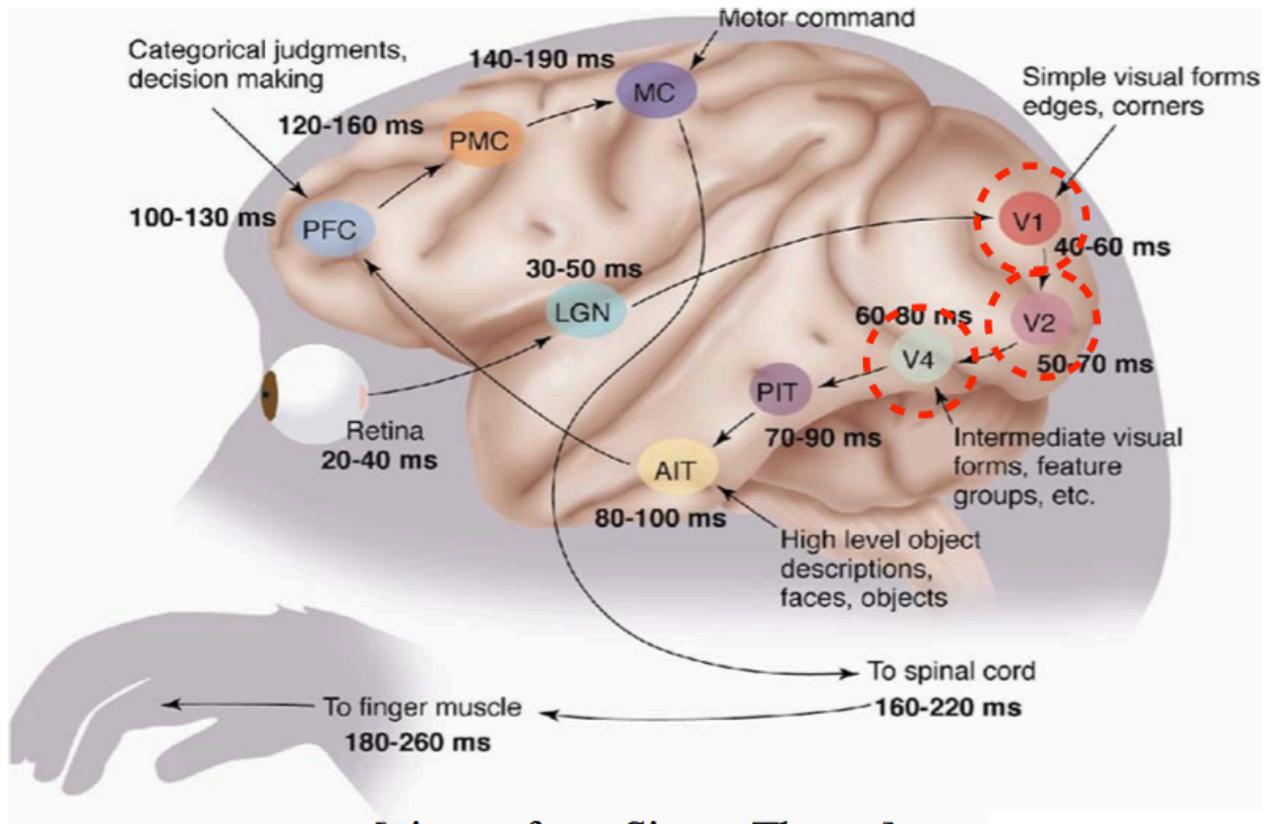
De la classification à la détection

- Quoi faire si ce que l'on cherche n'est pas au centre de l'image?
- **Idée générale:** on applique le même classifieur à plusieurs positions et échelles dans l'image



Le système visuel humain

- Pourquoi ne pas s'inspirer du cerveau pour faire de la vision!

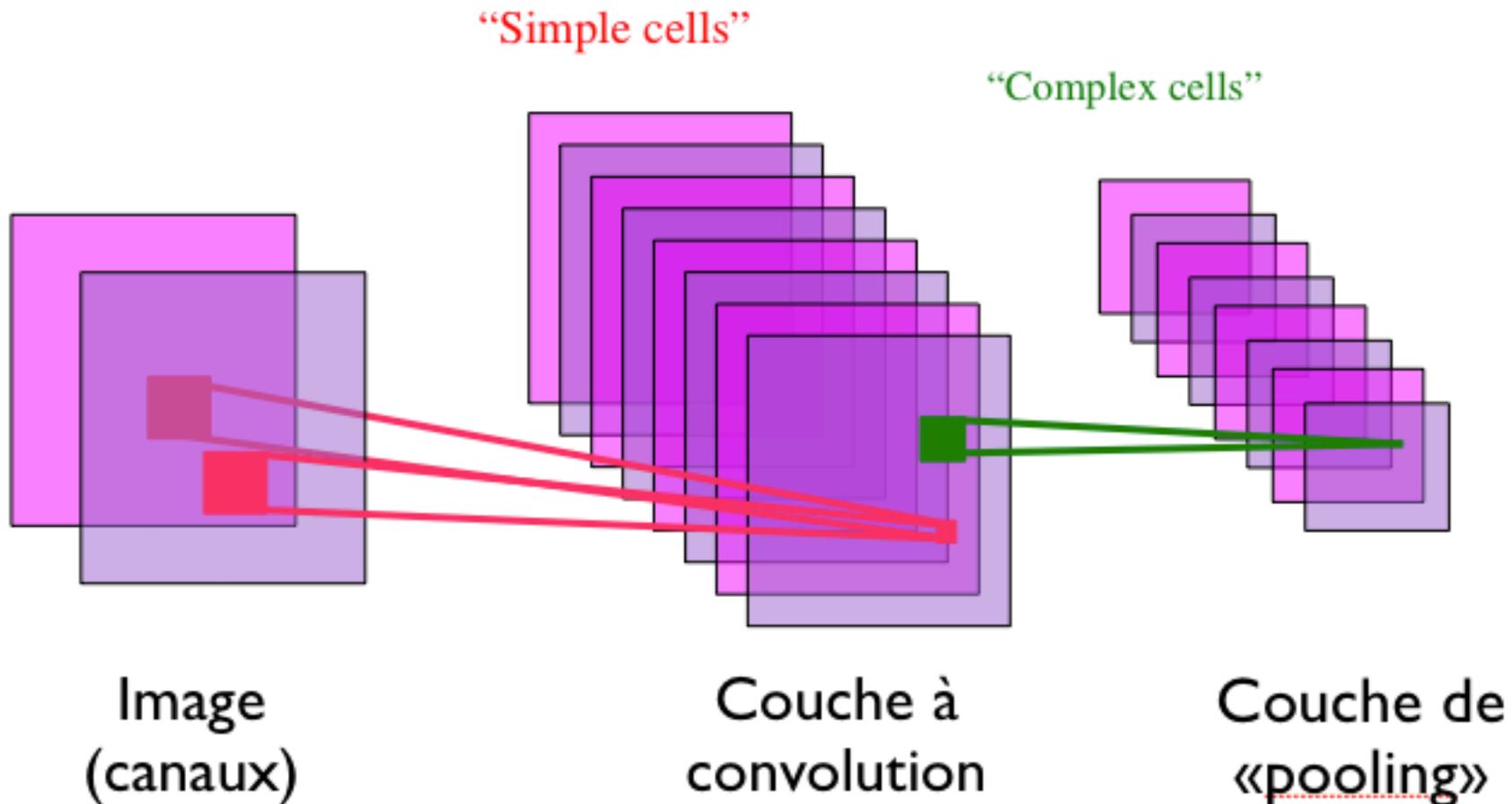


[picture from Simon Thorpe]

Réseau de neurones à convolution

- Un **réseau de neurones à convolution** est cas spécial de réseau de neurones
 - ◆ Neocognition (Fukushima, 1980)
 - ◆ LeNet (LeCun, 1989)
- Comme un réseau de neurones standard, on l'entraîne par descente de gradient stochastique à l'aide de la rétropropagation des gradients
- Spécificité: ils implémentent **3 idées**:
 - ◆ connectivité parcimonieuse («sparse»)
 - ◆ connectivité locale
 - ◆ partage de paramètres

Réseau de neurones à convolution: structure des couches cachées

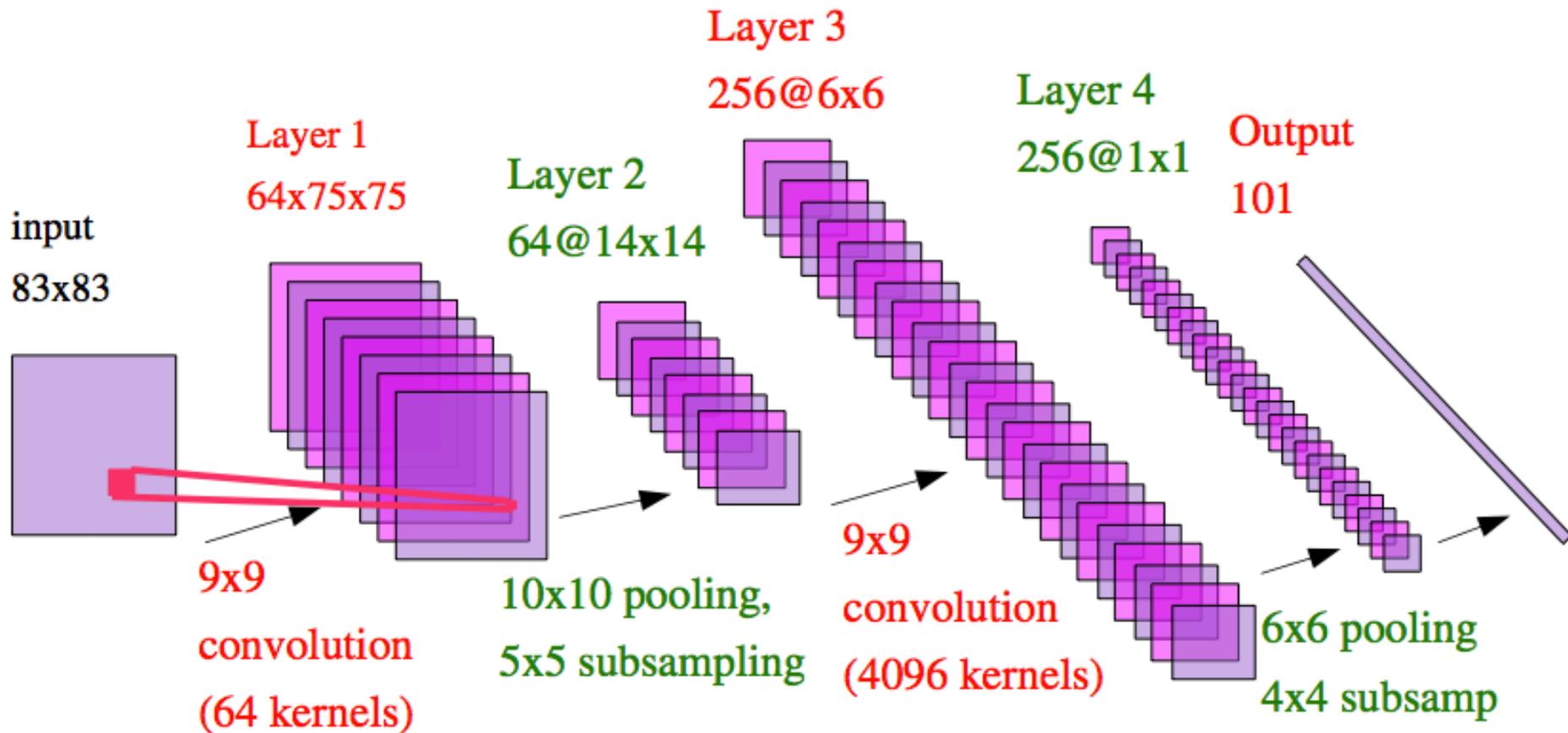


Inspiration de la neuroscience

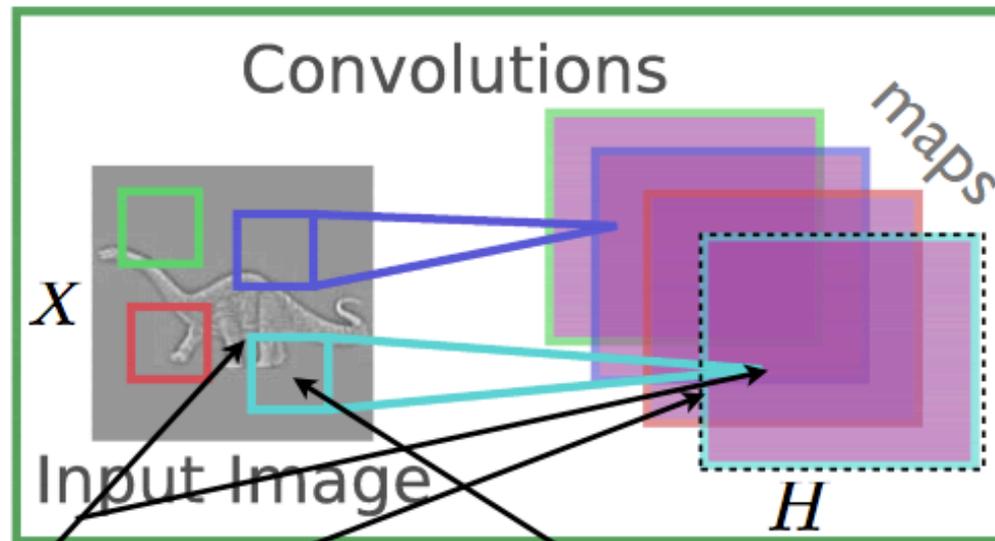
Hubel & Wiesel video

<http://www.youtube.com/watch?v=8VdFf3egwfg&feature=related>

Réseau de neurones à convolution: réseau complet



Réseau de neurones à convolution: couche à convolution

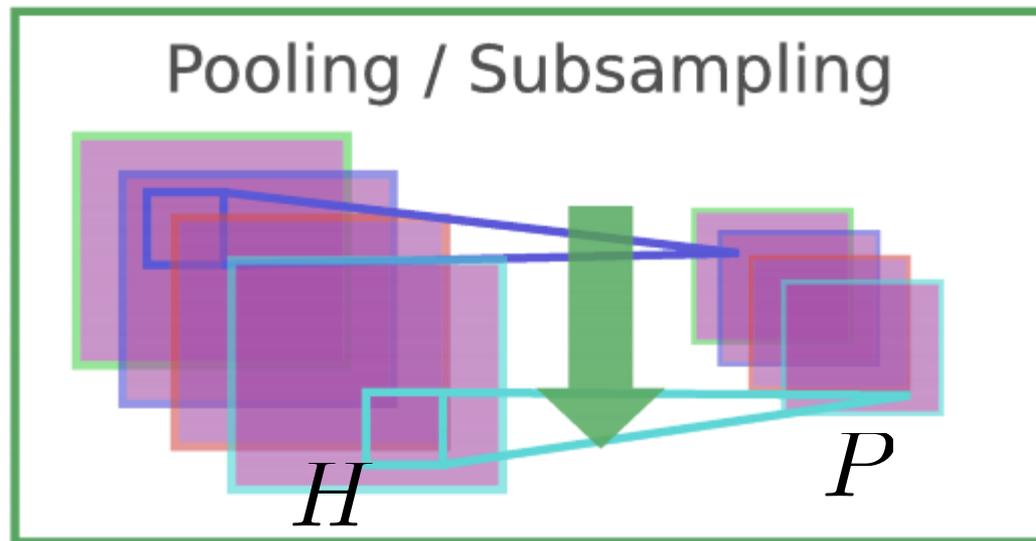


$$H_{i,j,k} = \tanh \left(b_k + \sum_{s=1}^K \sum_{t=1}^K w_{s,t,k} X_{i-1+s,j-1+t} \right)$$

$$\tanh(a) = \frac{e^a - e^{-a}}{e^a + e^{-a}}$$

$\left. \begin{array}{l} \text{noyau} \\ \text{«kernel»} \\ \text{filtre} \end{array} \right\}$

Réseau de neurones à convolution: couche à « pooling »



- Deux étapes

- ◆ «max pooling»:
$$P_{i,j,k} = \max_{(i',j') \in N(i,j)} H_{i',j',k}$$

- ◆ «downsampling»: garde seulement une fraction des neurones

Application: conduite automatique d'une voiture téléguidée



<http://www.cs.nyu.edu/~yann/research/dave/index.html>

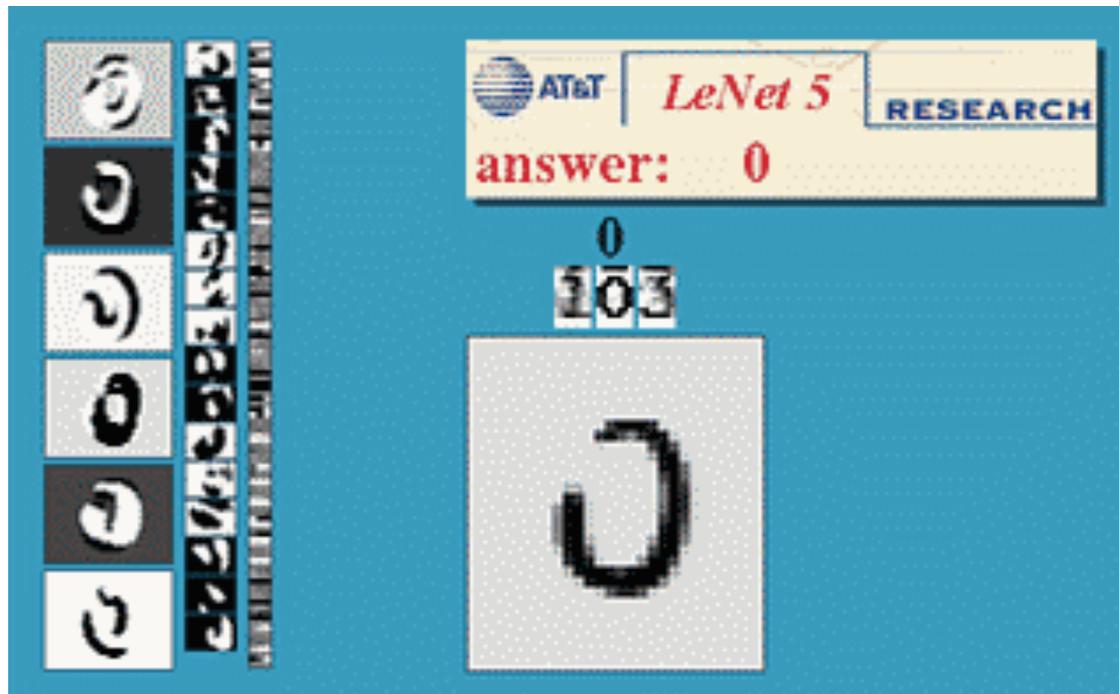
Application: conduite automatique d'une voiture téléguidée



<http://www.cs.nyu.edu/~yann/research/dave/index.html>

Application: et plusieurs autres

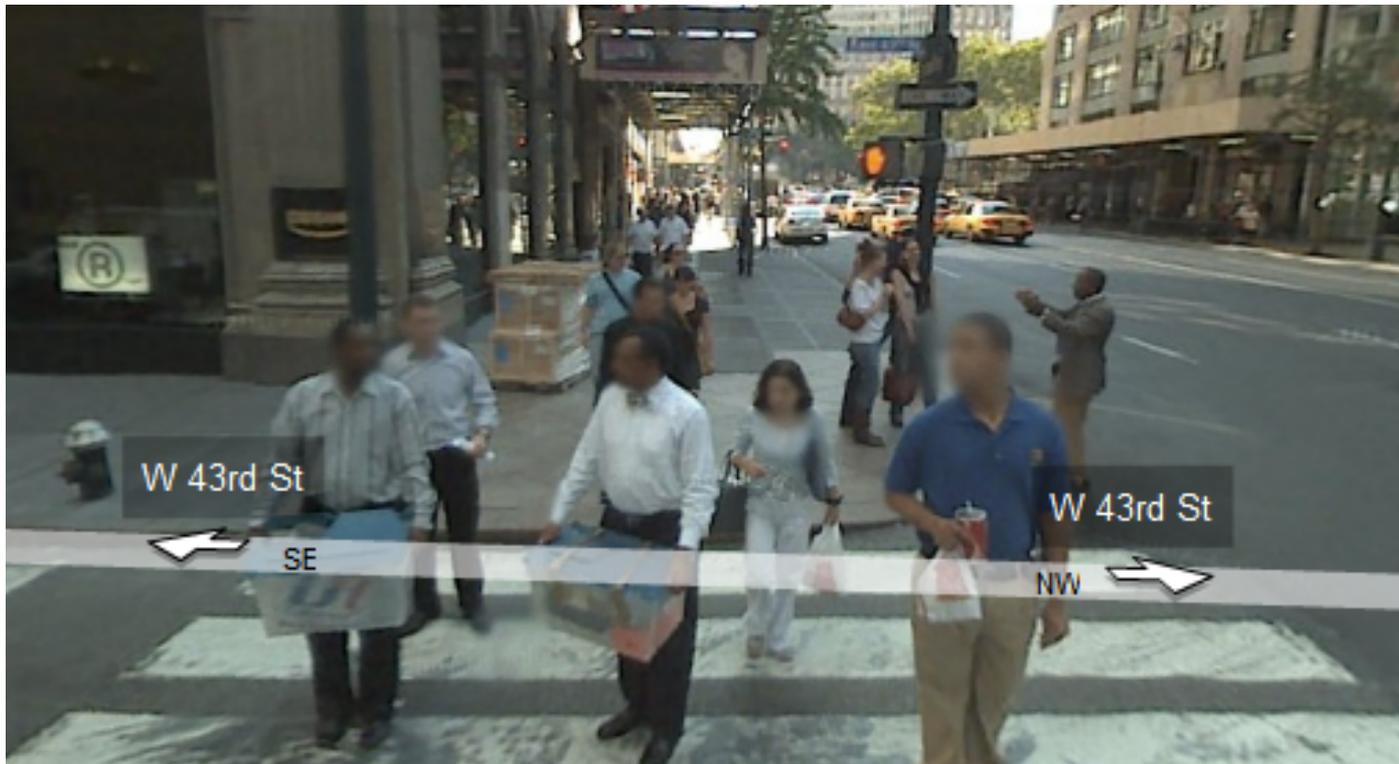
- Reconnaissance de caractères



<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Application: et plusieurs autres

- Détection de visages et plaques d'immatriculation
 - ◆ utilisé dans Google Streetview pour masquer les visages automatiquement



En rafale: autres concepts en vision par ordinateur

- Extraction de caractéristiques pour des images de couleur
 - ◆ en plus des histogrammes de gradients, on peut extraire des histogrammes des couleurs
 - » on détermine des intervalles de valeur pour R, G et B individuellement (ex.: 4 intervalles pour chaque canal)
 - » on considère chaque combinaison d'intervalle R, G et B comme une case (ex.: $4^3 = 64$ cases)

En rafale: autres concepts en vision par ordinateur

- Extraction de caractéristiques pour la vidéo
 - ◆ on peut estimer le mouvement dans une image à l'aide du **flot optique**
 - ◆ à chaque pixel d'une image (*frame*), trouver le pixel dans l'image suivante qui est le plus « similaire » (c.-à-d. entouré de pixels similaires)



image t

image $t+1$

flot optique

Conclusion

- Les technologies de vision par ordinateur sont de plus en plus performantes et de plus en plus répandues
 - ◆ détection de visage
 - ◆ détection de mouvements (*Microsoft Kinect*)
- Comme pour le traitement automatique de la langue, l'apprentissage automatique est de plus en plus au centre des technologies de vision par ordinateur
- Ce cours ne donne qu'une vue globale de la vision par ordinateur
 - ◆ le bacc en imagerie offre plusieurs cours sur le sujet (ex.: **IMN 559 - Vision par ordinateur**)
 - ◆ ces cours peuvent être suivis à la maîtrise...

Vous devriez être capable de...

- Calculer une convolution
- Décrire globalement ce qu'est un contour et comment on peut les détecter
- Décrire ce qu'est un gradient d'image et connaître ses propriétés (norme vs. orientation)
- Décrire comment on extrait des caractéristiques d'une image à partir de ses gradients
- Savoir ce qui distingue un réseau de neurones à convolution d'autres sortes de réseaux de neurones