

Introduction au traitement d'images

Enseignement intégré

ITEC2 | Informatique 2A | 2025-2026

Chapitre 1 : Introduction

Rémi Giraud

remi.giraud@enseirb-matmeca.fr

<https://remi-giraud.enseirb-matmeca.fr/>

Traitement d'images

- Culture du traitement d'images et des applications
- Comprendre le système de vision humain et ce qu'est une image couleur
- Savoir afficher de manière pertinente n'importe quel contenu 2D
- Savoir identifier des dégradations et des solutions adéquates
- Outils : changement d'espace, filtrage, Fourier, compression, ...

Programmation Python

- Prise en main de Spyder
- Rappels de syntaxe Python (import, indentation, boucles, fonctions, ...)
- Librairies *numpy*, *matplotlib*, *scikit-image*
- Manipulation de tableaux (*np.array*, *0:L-1*, *axis=X*, *opérations vectorielles*)

- **Enseignement Intégré (EI) + TP :**
 - **Contrôle Continu :**
 - Travail en TP x0.33
 - TP final (code + questions) x0.66

Plan du cours

Cours intégrés (16h)

- **Introduction**
- **Formation / Acquisition**
- **Image numérique**
 - Format/Affichage/Synthèse
 - Espaces couleur caractéristiques : compression, esquisse, illusion
- **Traitements**
 - Filtrage linéaire / non linéaire : débruitage, anonymisation
 - Détection de contours : réhaussement de contraste
- **Transformée de Fourier**
 - Application : recouvrement fréquentiel
- **Compression d'images**
 - Application : algorithme JPEG
- **Transformation spatiales**

TP (10h)

?

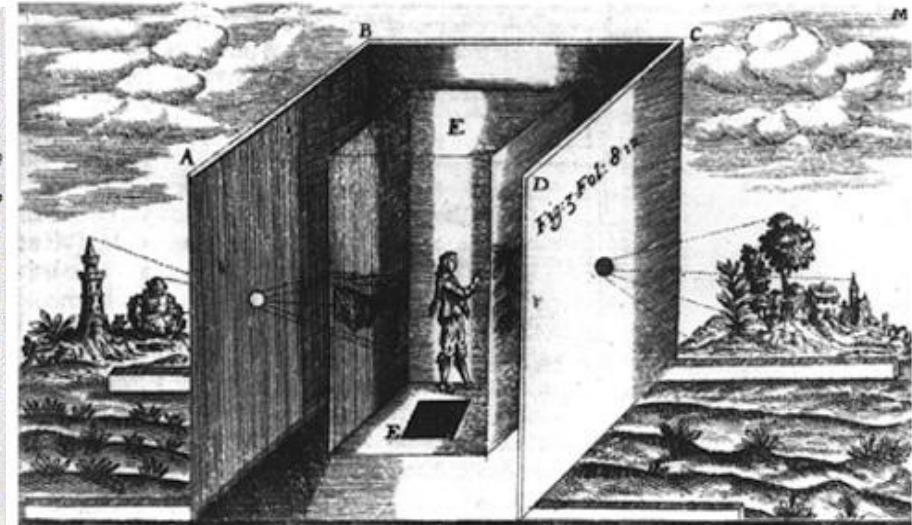
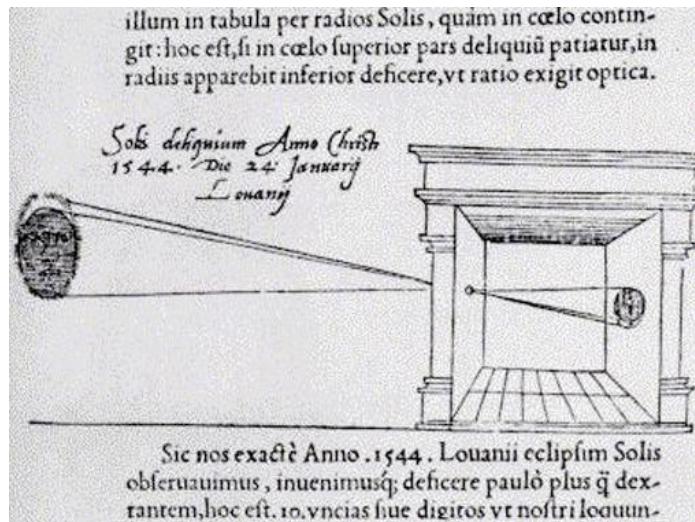
Éval

Contrôle continu + examen terminal (code + sujet)

L'HISTOIRE

Définition

- Image : une **interprétation visuelle** d'une fonction $f(x,y)$ où f représente la luminosité (couleur) au point (x,y) .
- Plupart des images définies sur un plan (x,y) .



Chambre noire [Kircher 1646]

La première photographie

- Première expérience réussie de fixation permanente d'une image.
(Nicéphore Niépce en 1827)



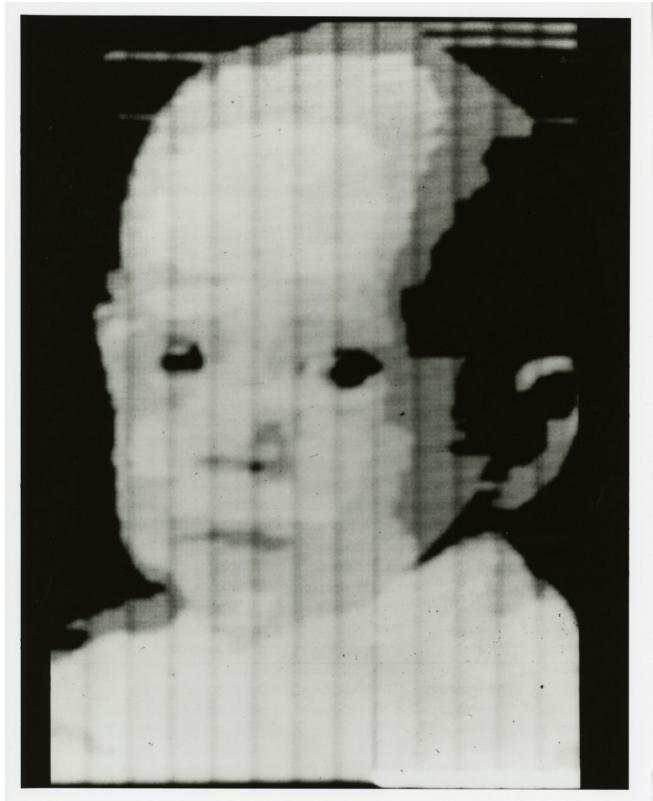
La première traversée

- Première image numérique produite en 1921 à partir d'une bande codée et transmise à travers l'Atlantique par télégraphe
- Plusieurs semaines → quelques heures



La première image numérique

- Russel Kirsch, inventeur du pixel et de la première photographie numérisée (son fils) en 1957
- Propriétés : 176×176 pixels dans une zone de 5×5 cm



Évolution des technologies

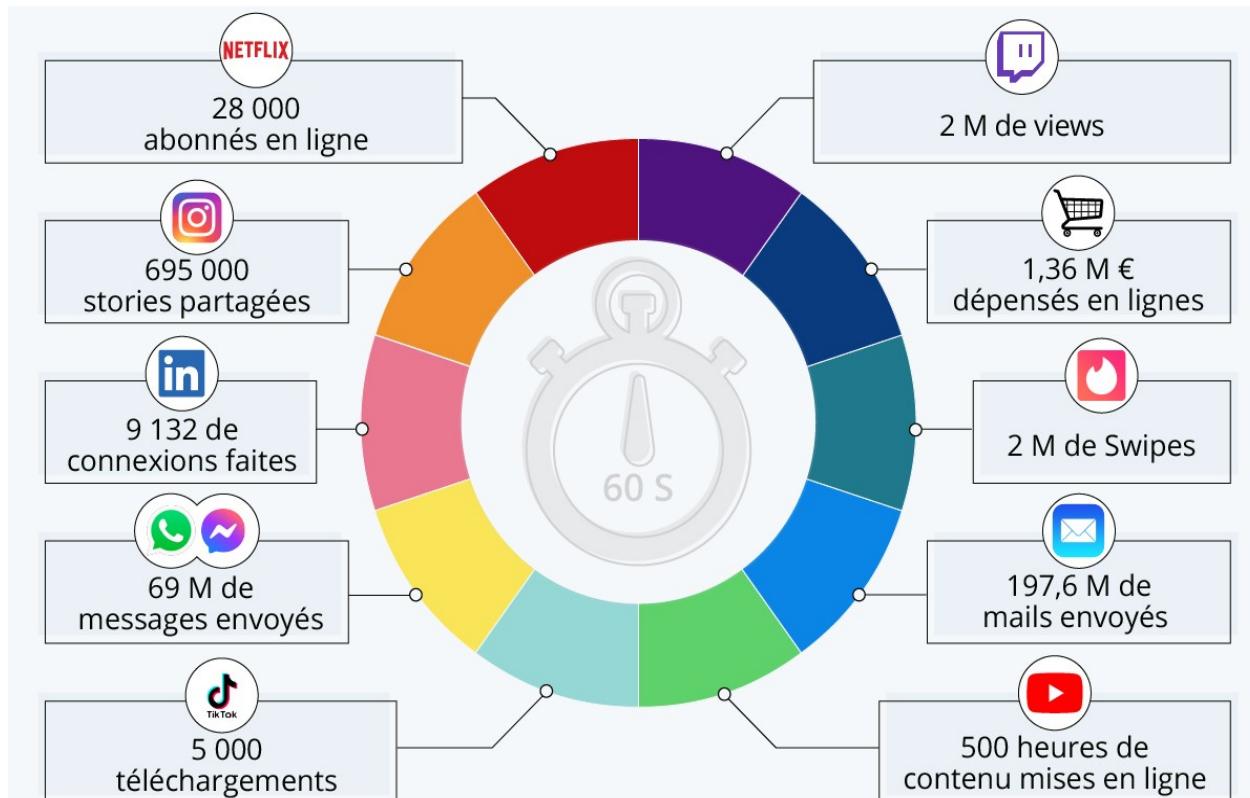
- Des outils de plus en plus petits et complexes



L'OMNIPRÉSENCE

Quantité de données gigantesque

- Majorité du trafic internet comprenant des images ou vidéos :



Source : Lori Lewis via AllAccess

Exemple de Facebook

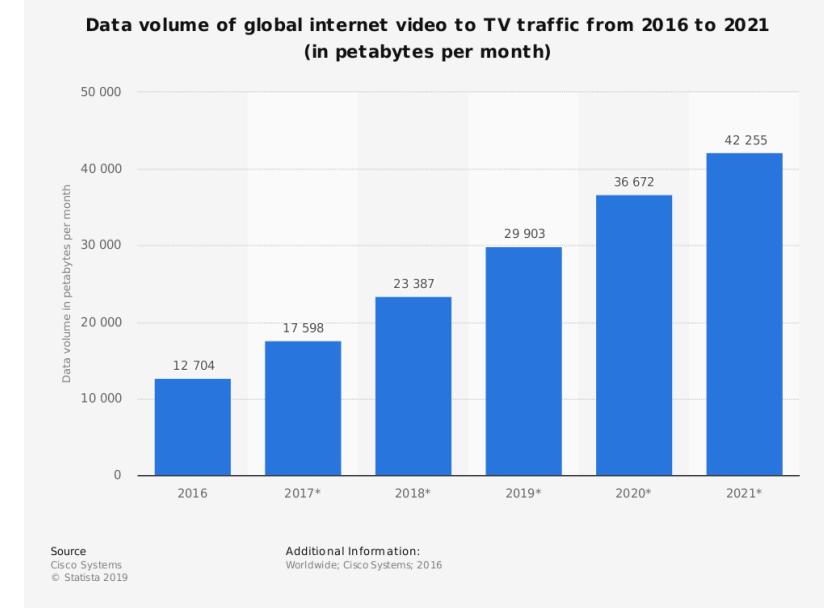
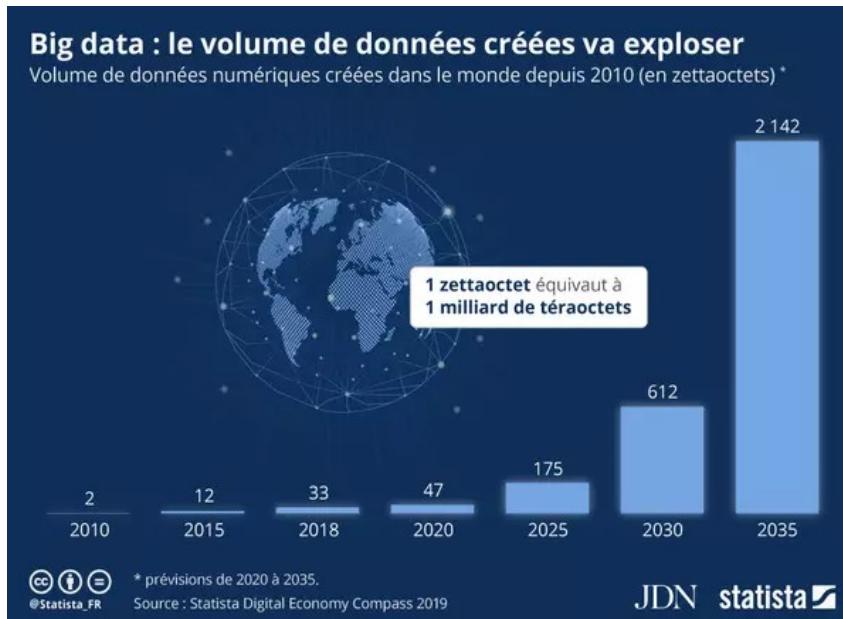
- Nombre de photos mises en ligne :
 - Par seconde : ≈ 4000
 - Par jour : ≈ 350 millions
 - Par an : ≈ 128 milliards



Source

Évolution exponentielle du volume de données

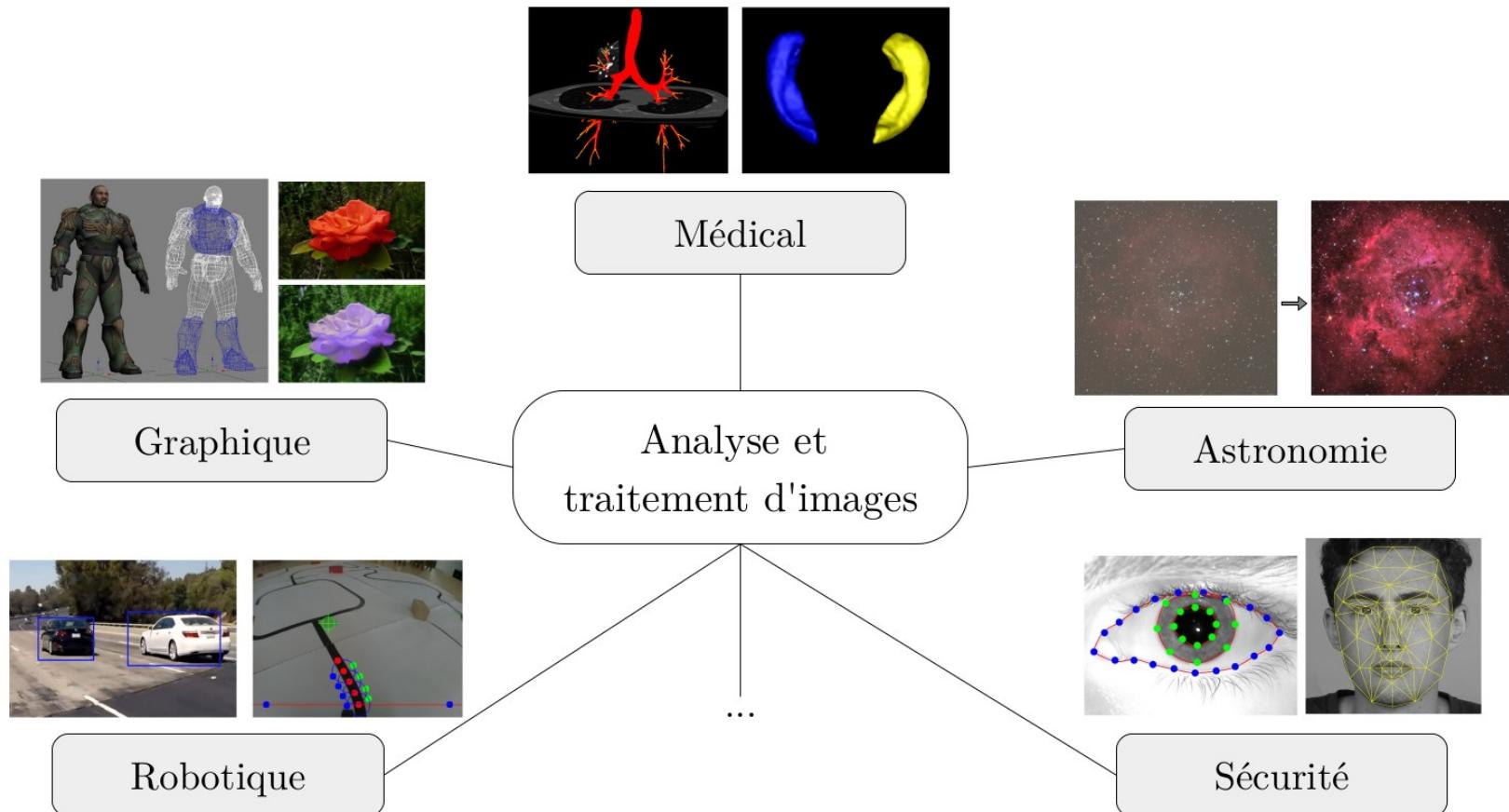
- Problématiques cruciales de :
 - Stockage, compression, transmission, affichage, etc.
 - Recherche de contenu



Source

Source

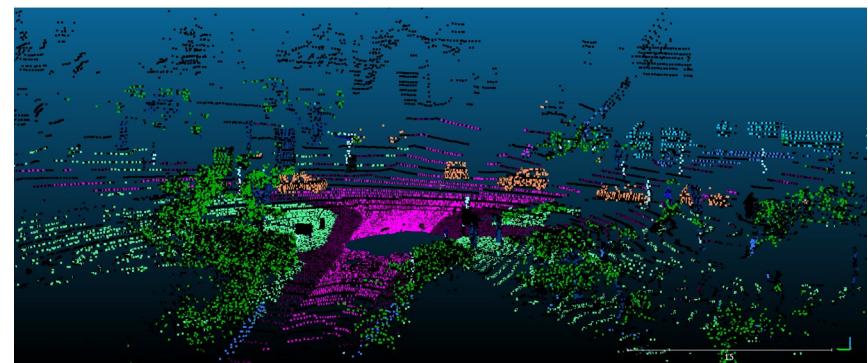
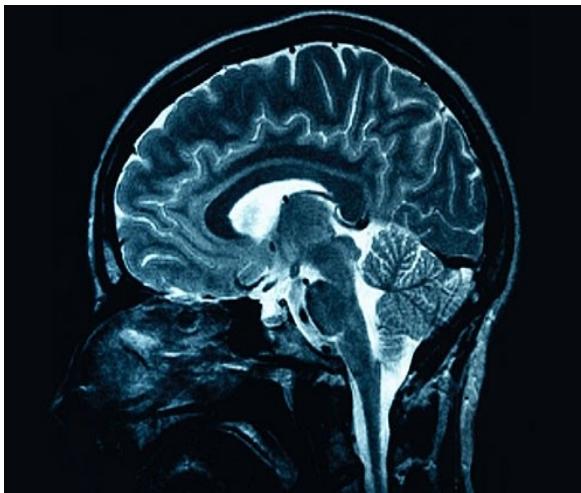
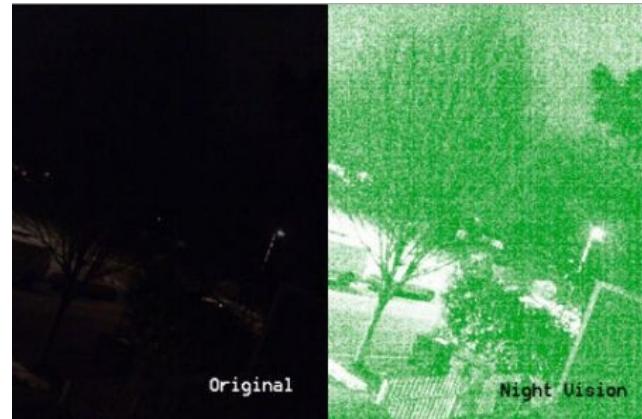
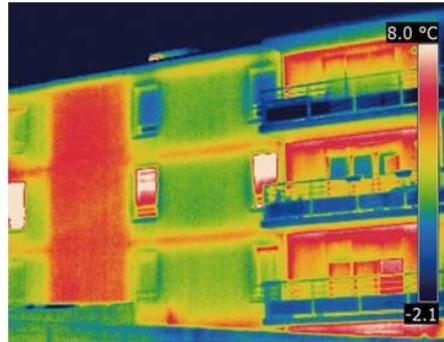
Pléthore de domaines d'application



Pléthore de dispositifs d'acquisition



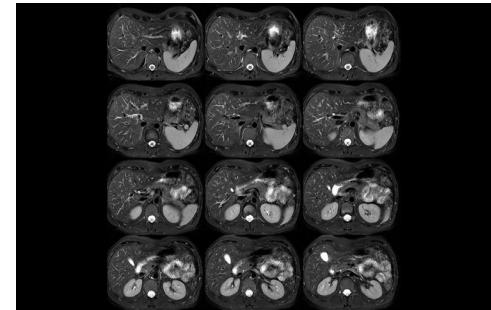
Pléthore de modalités d'acquisition



Pléthore de formats de données

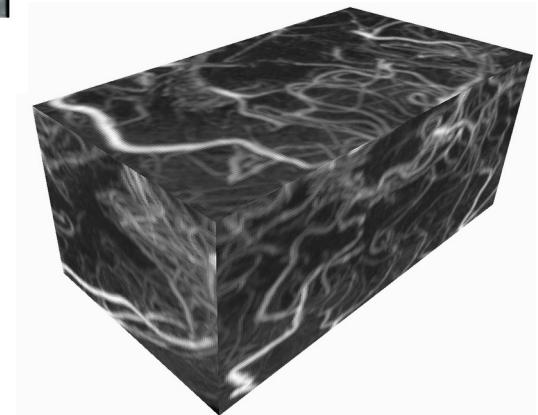
- **Image (2D)**

- Appareil photographique
- IRM
- Radiographie X



- **Vidéo (2D+t)**

- Vidéo
- Radar



- **Volumique (3D)**

- IRM
- Échographie
- Tomographies (tomodensitométrie, ...)

Nombreux formats numériques

Image couleur, multispectrale



Photo argentique en noir et blanc

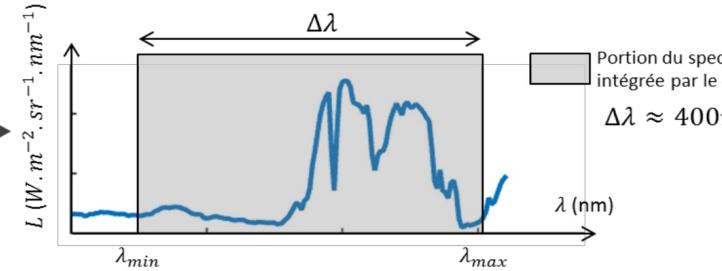


Photo numérique couleur

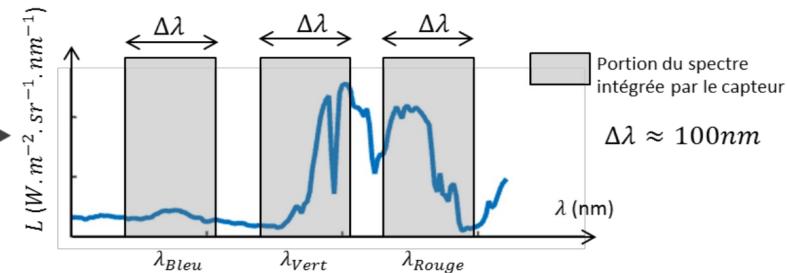
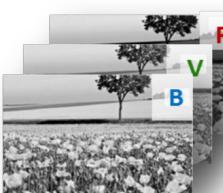
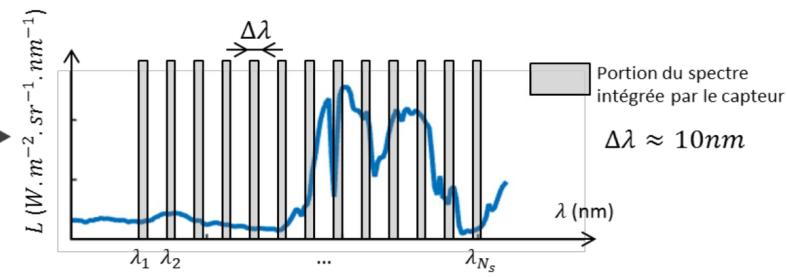
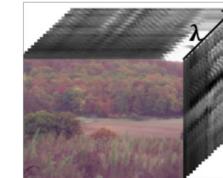


Image multispectrale

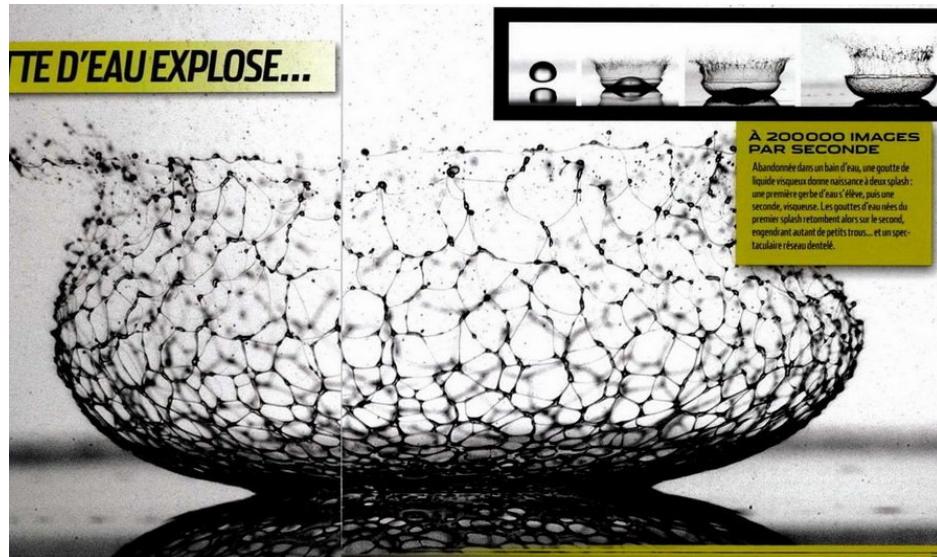


Observer l'inobservable

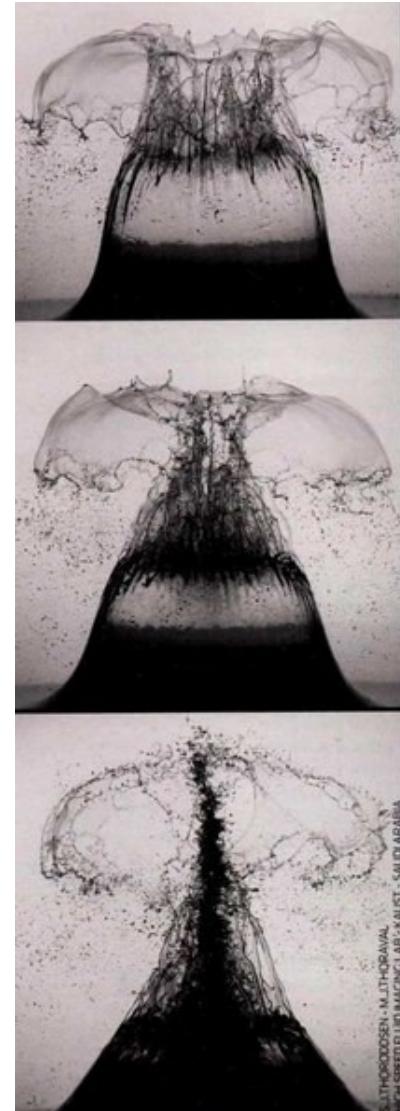
Caméras haute-fréquence

Plus rapide des caméras : 25 millions d'images/s

Peut saisir un événement aussi fugace que 40 milliardièmes de seconde !



Caméra ultra-rapide : 40.000 images par seconde



Fréquence perceptible

- L'œil humain ne peut distinguer *clairement* plus de 24 images/s
- Même si le cerveau est capable de repérer un événement de 0.01s

Standard cinéma : 24 images/s

Quelques exceptions :

Avatar, Le Hobbit 48 images/s



Sorties classiques (télé, ordinateur) : >> 24 images/s

Ex : Taux de réactivité de 8ms \approx 125 images/s

Grande réactivité, recopie de l'information

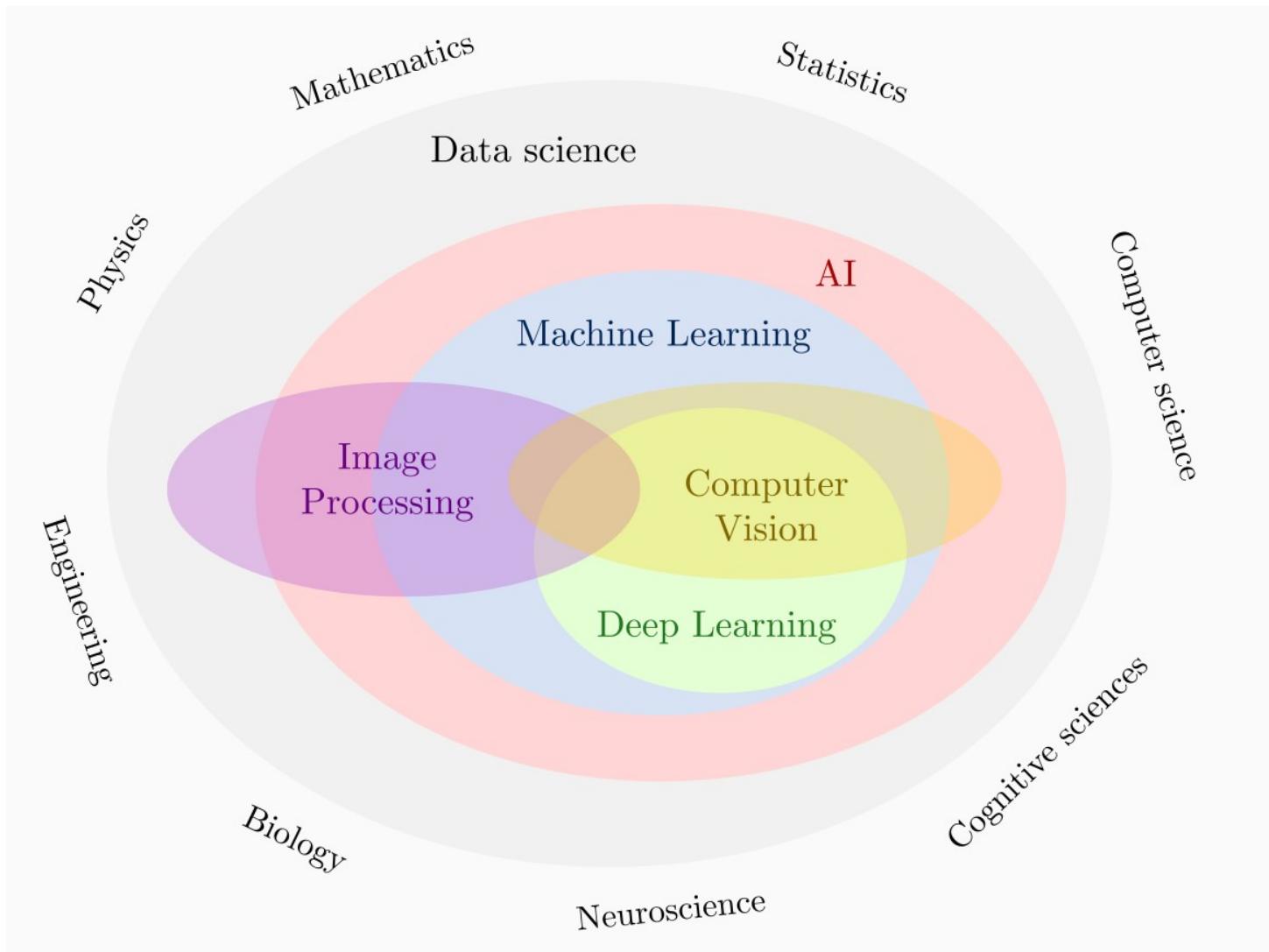
Fréquence perceptible



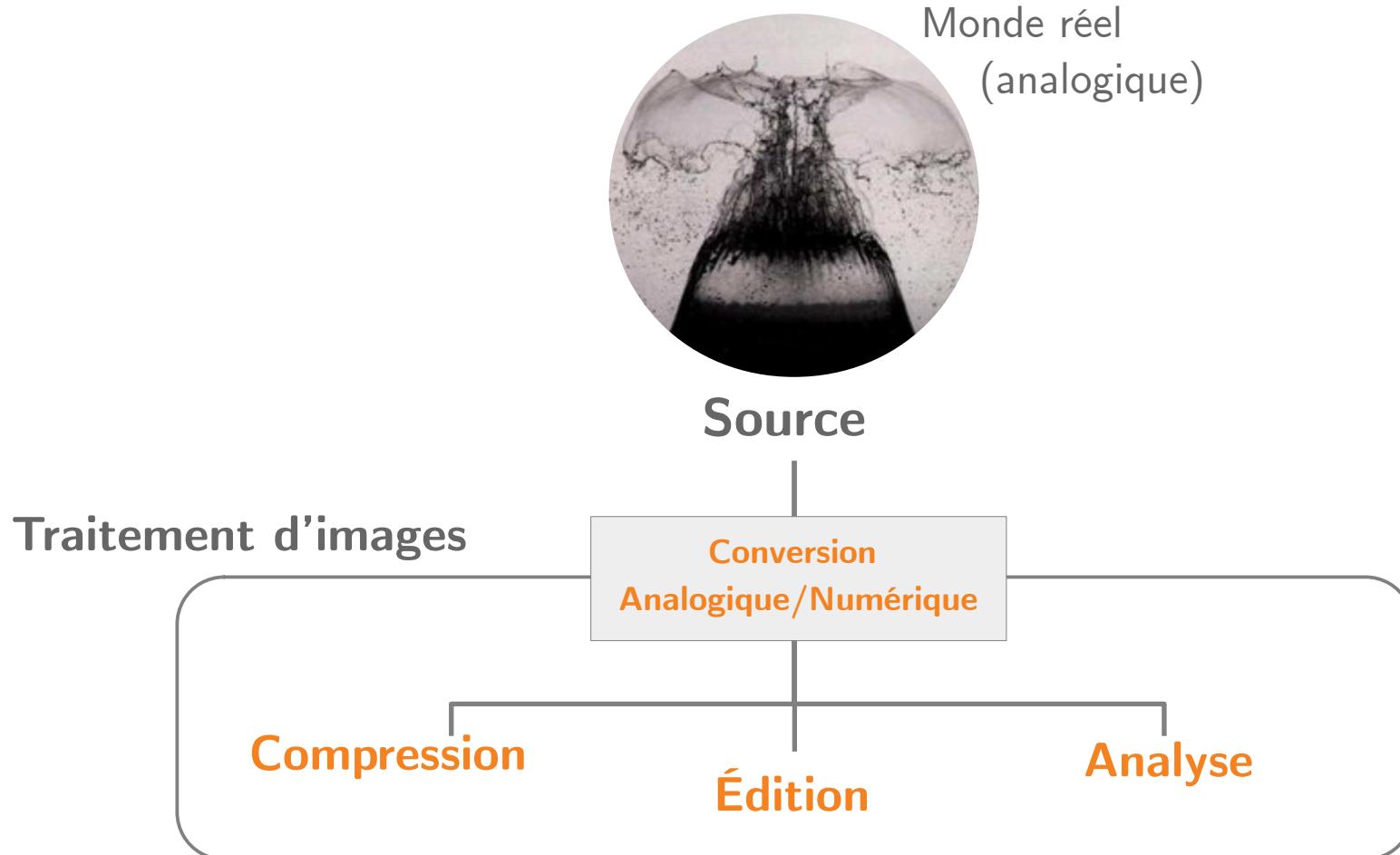
15fps

LE TRAITEMENT D'IMAGES

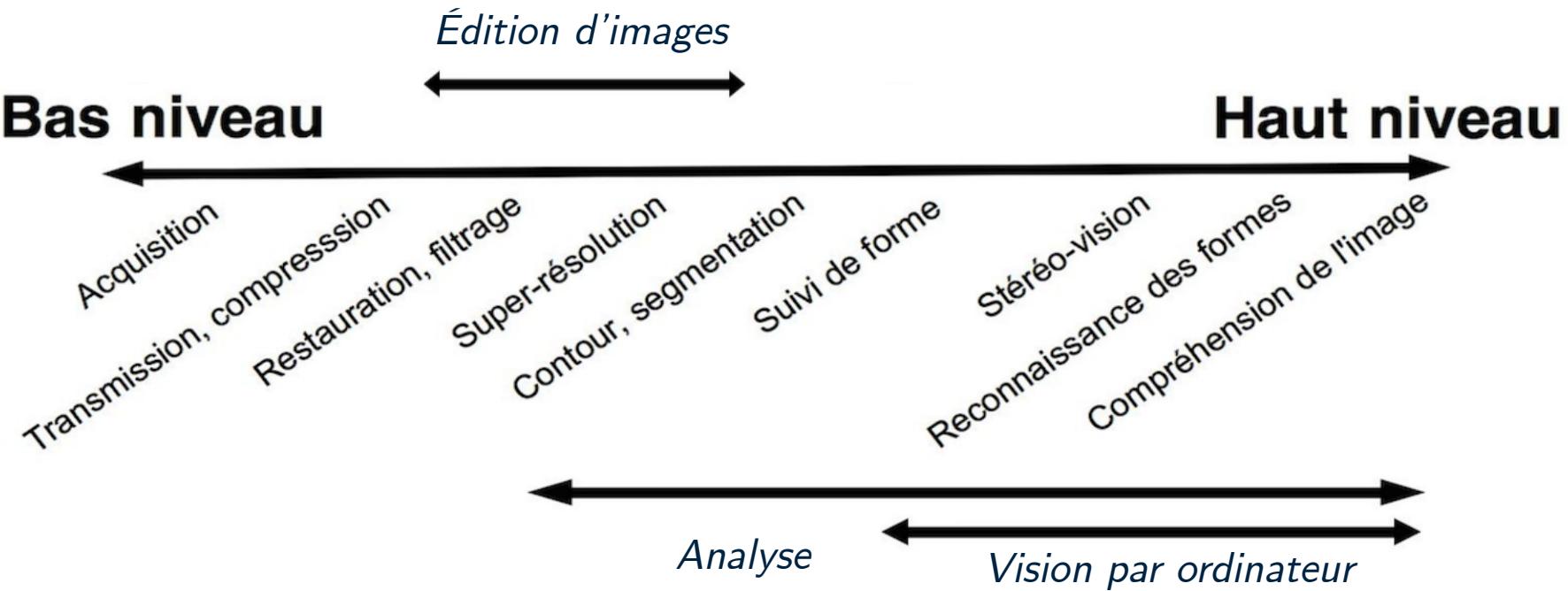
Un domaine transdisciplinaire



De l'acquisition à l'application



Vocabulaire



Édition d'images : améliorer, transformer, ... l'image (débruitage, colorisation, ...)

Analyse d'images : extraire des informations de l'image (présence d'objets, contours, ...)

Vision par ordinateur : extraire automatiquement, analyser et comprendre les informations utiles dans l'image (classification, reconnaissance, ...)

LES APPLICATIONS

Compression d'image fixe

Propriétés

- Algorithmes « *lossless* » ou « *lossy* »
- « *Lossy* » : dégradation du contenu peu *perceptible*
- Fort facteur de compression ~ 10

$$F = \frac{Q_{\text{initiale}}}{Q_{\text{finale}}}$$

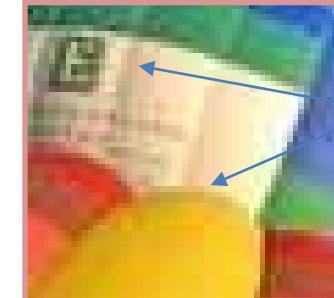
500×375, 549 ko



35,9 ko, $F \sim 15$



17,9 ko, $F \sim 30$



dégradation
des contours
et des aplats
de couleurs

Compression de vidéo

Propriétés

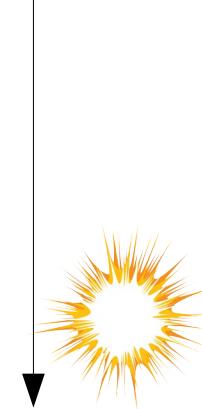
- Algorithmes « *lossy* » nécessaires

Durée\Format	352×288 VCD	720×576 DVD Vidéo	1280×720 HD 720p	1920×1080 HD 1080p
1 s	7,60 Mo	31,1 Mo	69,1 Mo	156 Mo
1 min	456 Mo	1,87 Go	4,15 Go	9,33 Go
1 h	27,4 Go	112 Go	249 Go	560 Go
1 j	657 Go	2,69 To	5,97 To	13,4 To

25 image/s, format couleur = 3 canaux



**Gain F ~ 100 (MPEG-4 AVC)
à 400 (MPEG-4 SVC)**



Restauration de géométrie

- Utilisation de modèle de déformation de géométrie



Vue omnidirectionnelle



Reconstruction

Débruitage

Flou



Défloutage

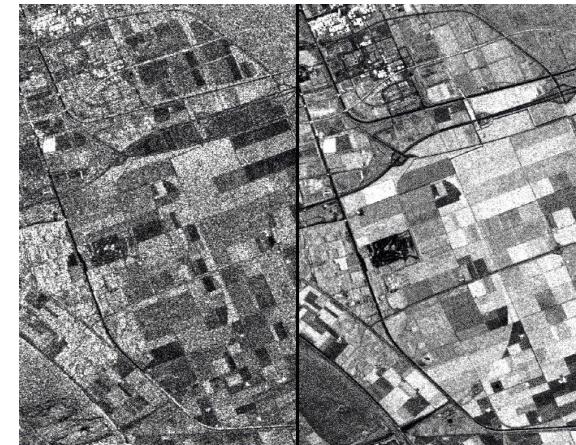
Bruit



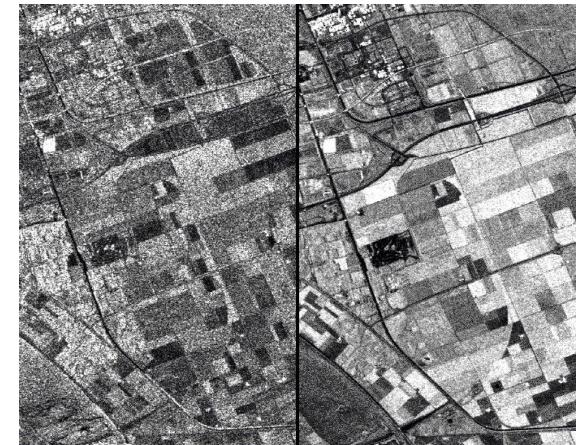
*Trame parasite
(bruit harmonique
additif)*



*Détramage par
filtrage fréquentiel*



*Speckle
(bruit
multiplicatif)*



*Réduction par
moyennage
temporel*

Super-résolution

bicubic



SRGAN



original



Source : [Ledig et al., 2017]

Inpainting



Rayures



Texte

Inpainting



Inpainting



Édition d'images

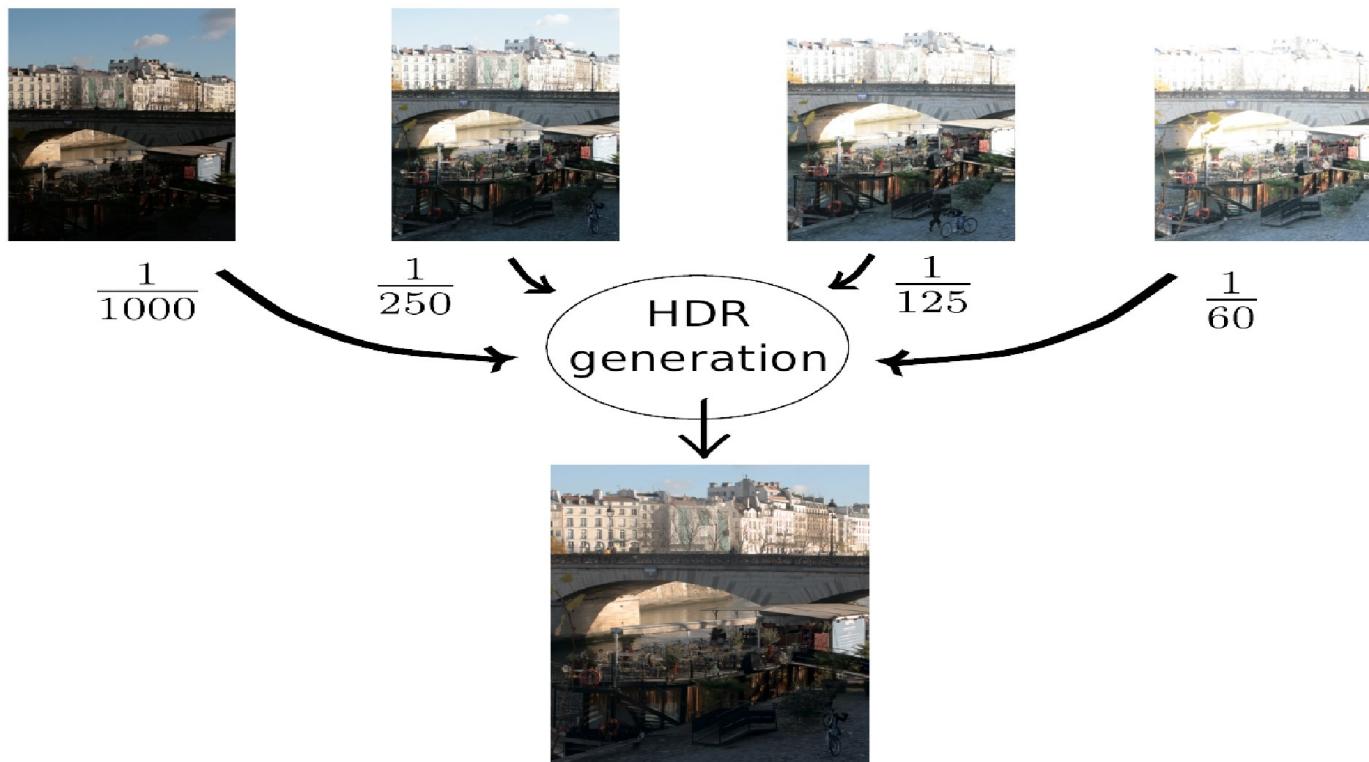
Inpainting



Source : [Gao et al., 2020]

High Dynamic Range (HDR)

- Permet d'améliorer la qualité de l'image en apportant plus de détails et de profondeur dans les zones sombres et les zones claires de l'image.
- Images produites plus proches de ce que l'œil est capable de percevoir.



High Dynamic Range



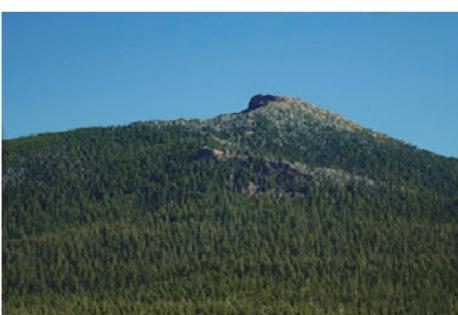
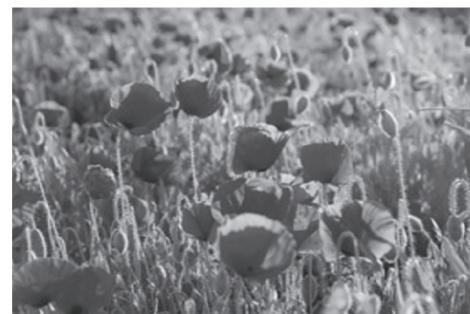
Colorisation

- Nombreuses applications :
 - Restauration de vieux films,
 - Étalonnage,
 - Applications utilisateurs, ...



Édition d'images

Transfert de couleurs (avec référence)



Source : [Pierre et al., 2014]

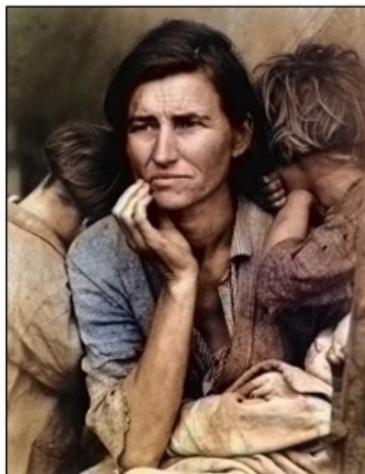
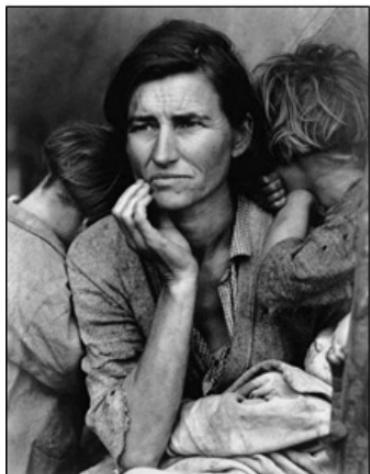
Transfert de couleurs vidéo



Source : [Frigo et al., 2014]

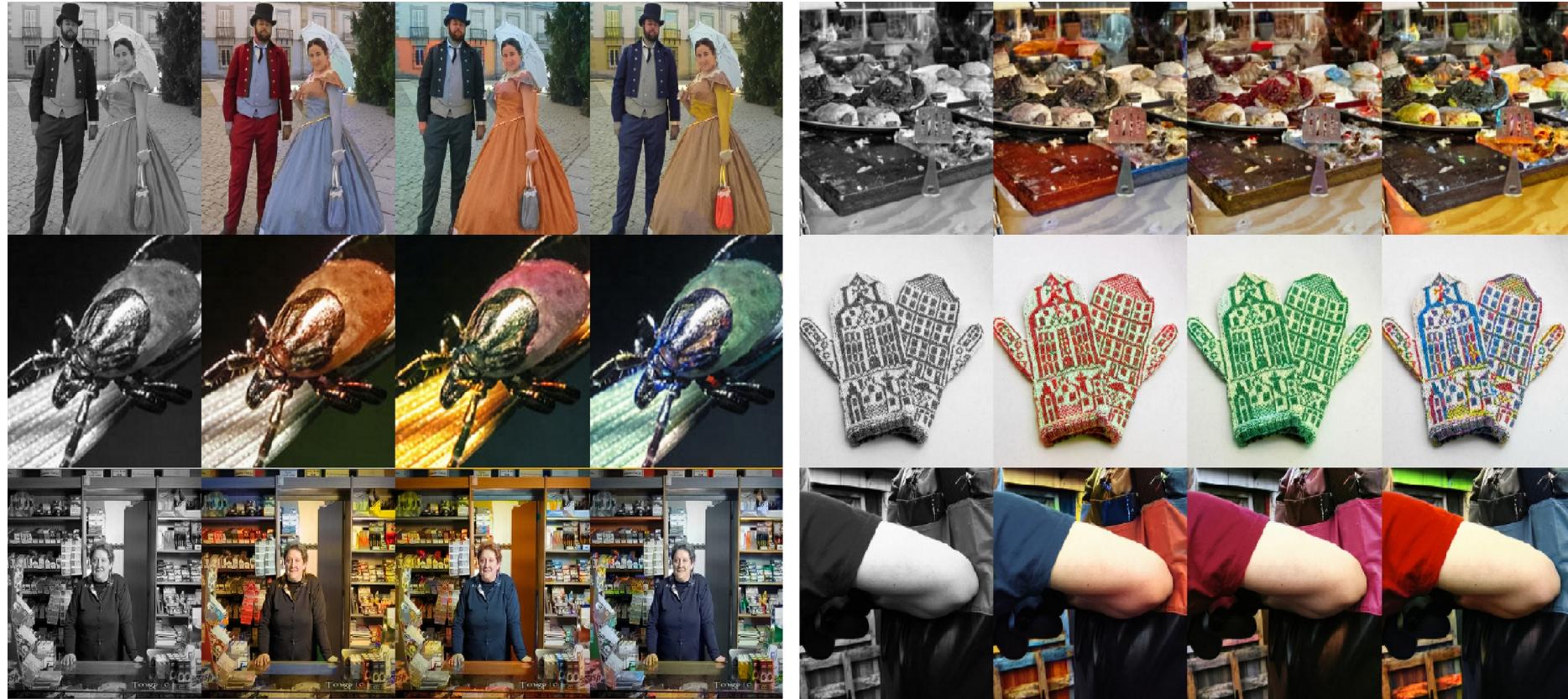
Édition d'images

Transfert de couleurs (sans référence, par apprentissage)



Source : [Zhang et al., 2016]

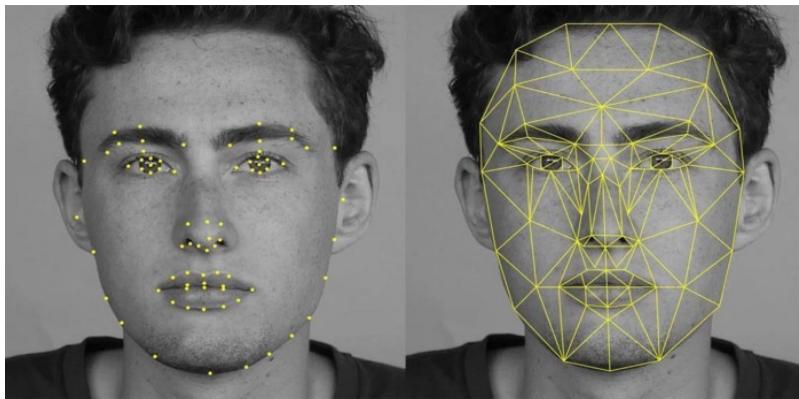
Transfert de couleurs (sans référence, par apprentissage)



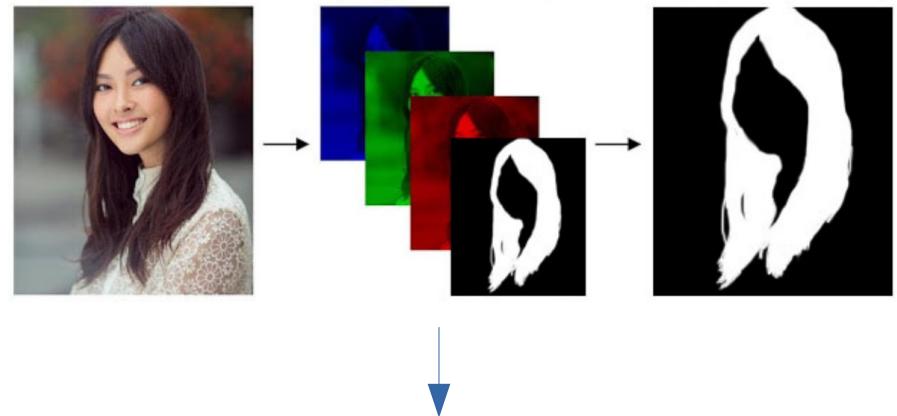
Source : [Zhang et al. 2021]

Filtres sur smartphones en temps-réel

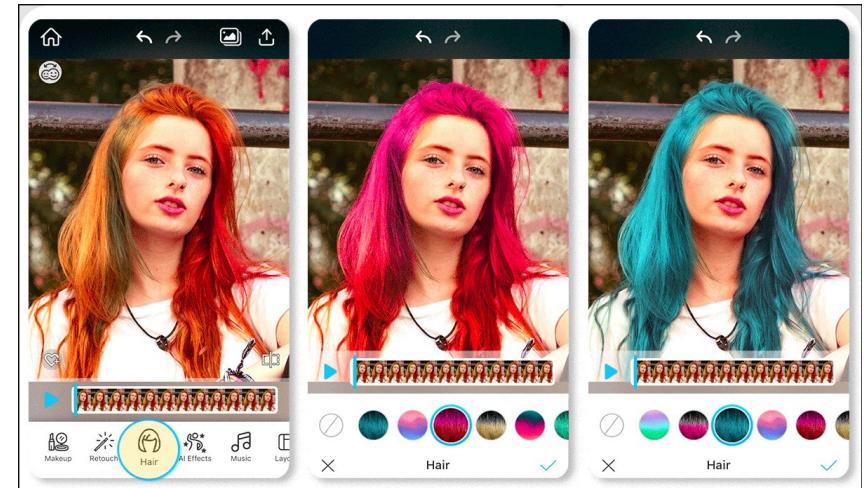
Détection des points d'intérêt du visage



Segmentation des cheveux



Projection déformée du filtre

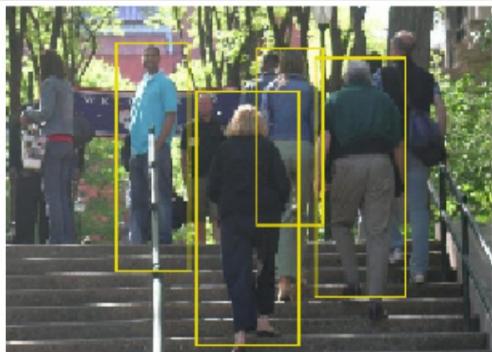


Coloration automatique

Problématiques d'analyse d'images

« Détection »

Présence d'un *objet*
Mouvement dans une vidéo
(*bounding box*)



« Reconnaissance / Classification »

Quel *objet* ?

2 hommes / 2 femmes

Muriel ...
Michel ...
Jean-Marc ...
Micheline ...

« Segmentation »

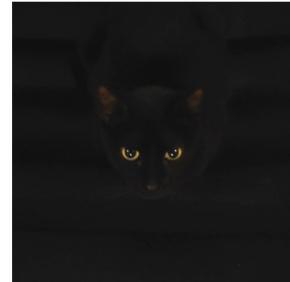
Détourage précis
Mesures de volume,
contours, ...



Difficultés



(a) Points de vue



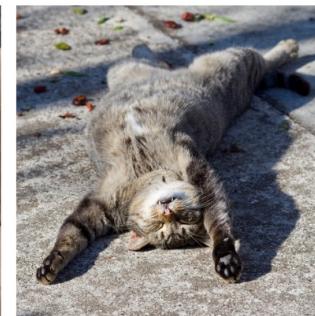
(b) Conditions d'illumination



(c) Variabilité intra-classe



(d) Occultations



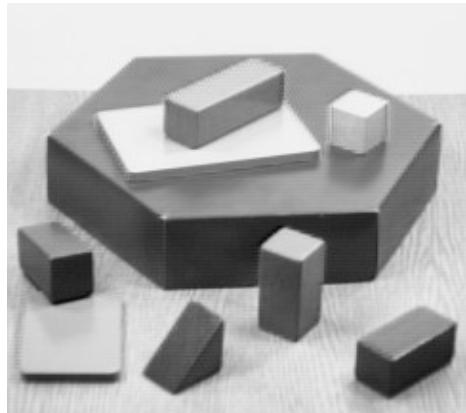
(e) Objets déformables



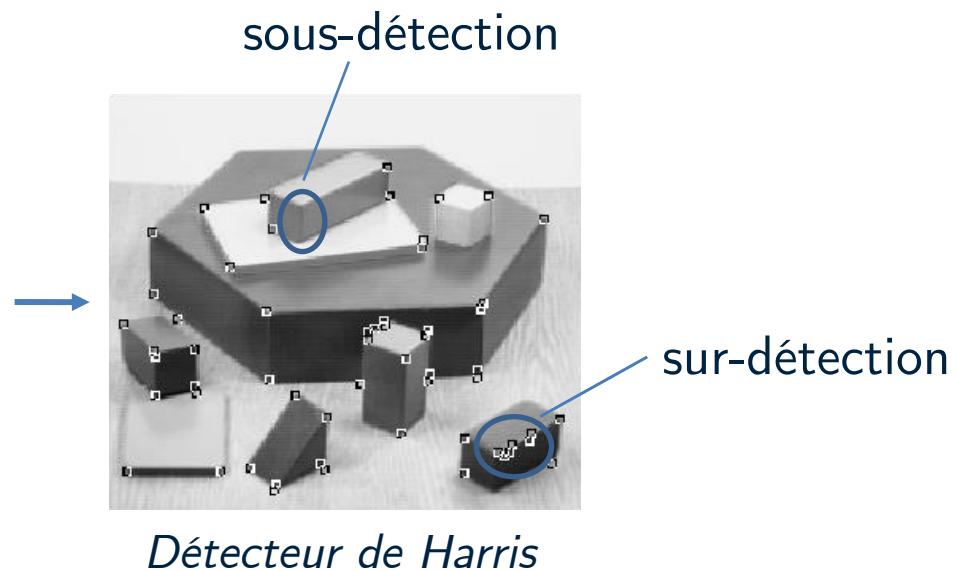
(f) Proximité
inter-classes

Détection

Détection de coins



Scène simple



Granulométrie

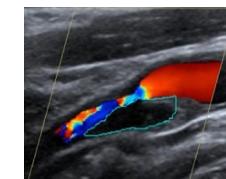
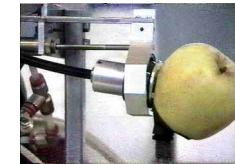
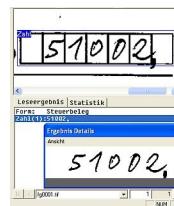
Extraction de statistiques :

- taille moyenne,
- variance,
- répartition des tailles, ...



Pléthore d'applications

- Chaînes de production
 - Contrôle de posture, détection de défauts,
 - Adaptation des traitements
- Reconnaissance de texte (OCR)
 - Tri postal, contrôle radar
- Sciences de la vie et de la terre
 - Suivi de cultures, de la dynamique de catastrophes naturelles
- Sécurité/Défense
 - Détection d'objets, biométrie (empreintes digitale, vocale, rétinienne, ,,,)
- Commerce
 - Vente en ligne, produits dangereux
- Robotique, domotique et automobile
 - Détection et contournement d'obstacles, commande vocale
- Médecine
 - Détection d'anomalies et assistance chirurgicale



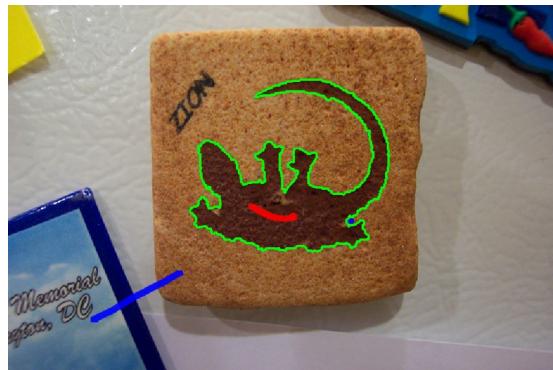
Segmentation simple

- Sur-segmentation en n'utilisant que l'information RGB de l'image
→ **Superpixels** : Réduction du nombre d'éléments à traiter



Source : [Achanta et al., 2012]

- Segmentation d'un objet par interaction utilisateur



Source : [Price et al., 2010]



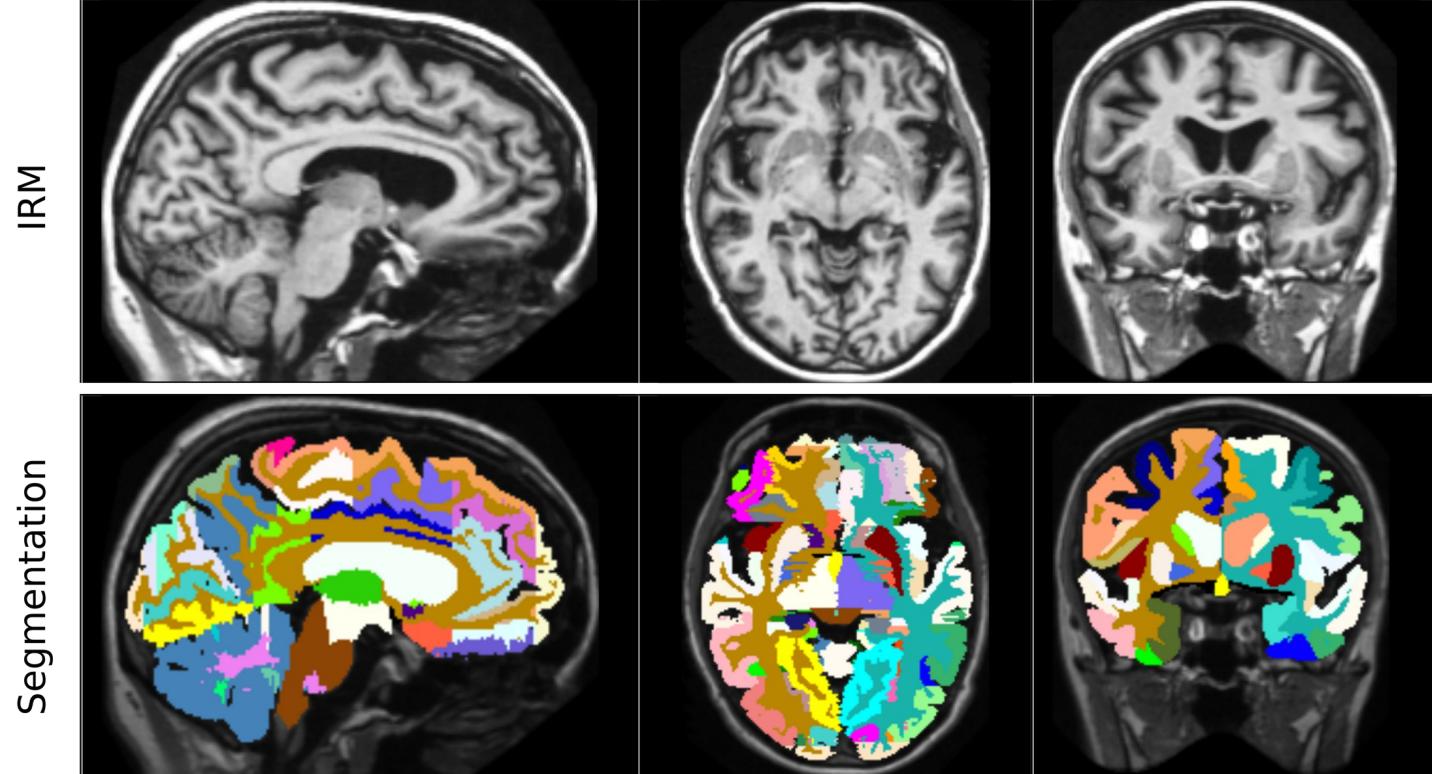
Source : [Kirillov et al., 2023] (Démo)

Segmentation / Reconnaissance d'objets

Imagerie médicale

Très coûteux pour les médecins

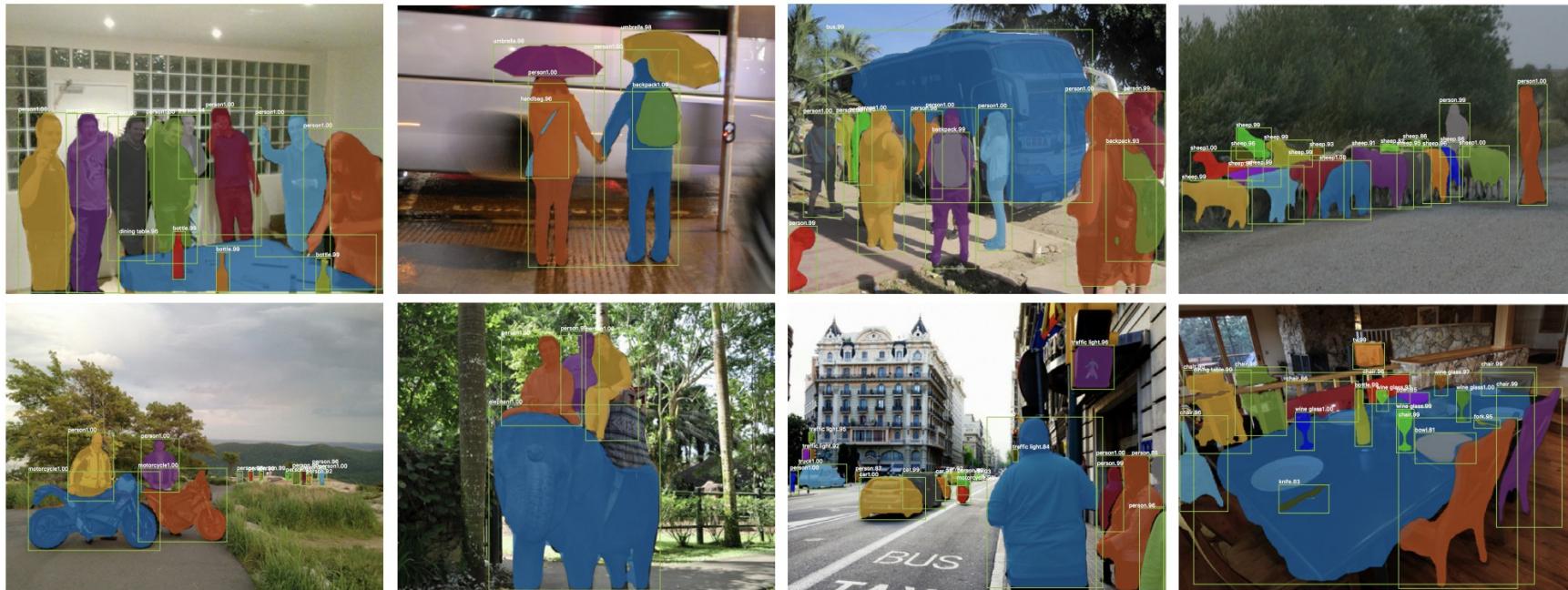
- Suivi des patients facilité
- Études statistiques à grande échelle



Segmentation / Reconnaissance d'objets

Segmentation *sémantique* / Classification pixellique

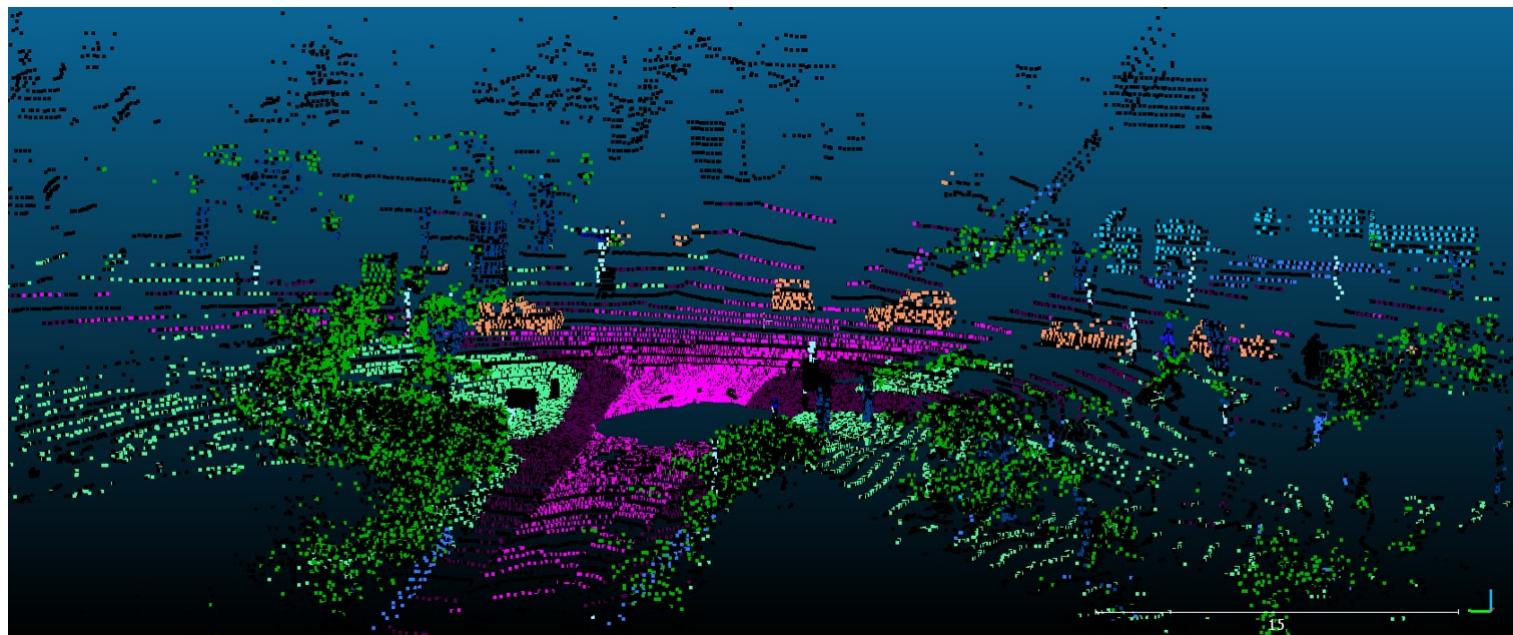
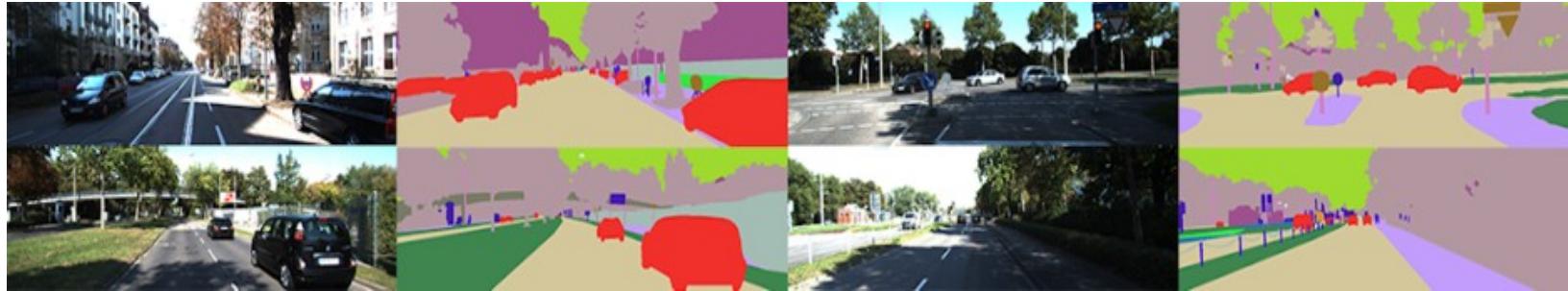
- Association d'un attribut de classe (au sens objet) à chaque pixel
 - Détection des instances (différents éléments d'une même classe)



Source : [He et al., 2017]

Segmentation / Reconnaissance d'objets

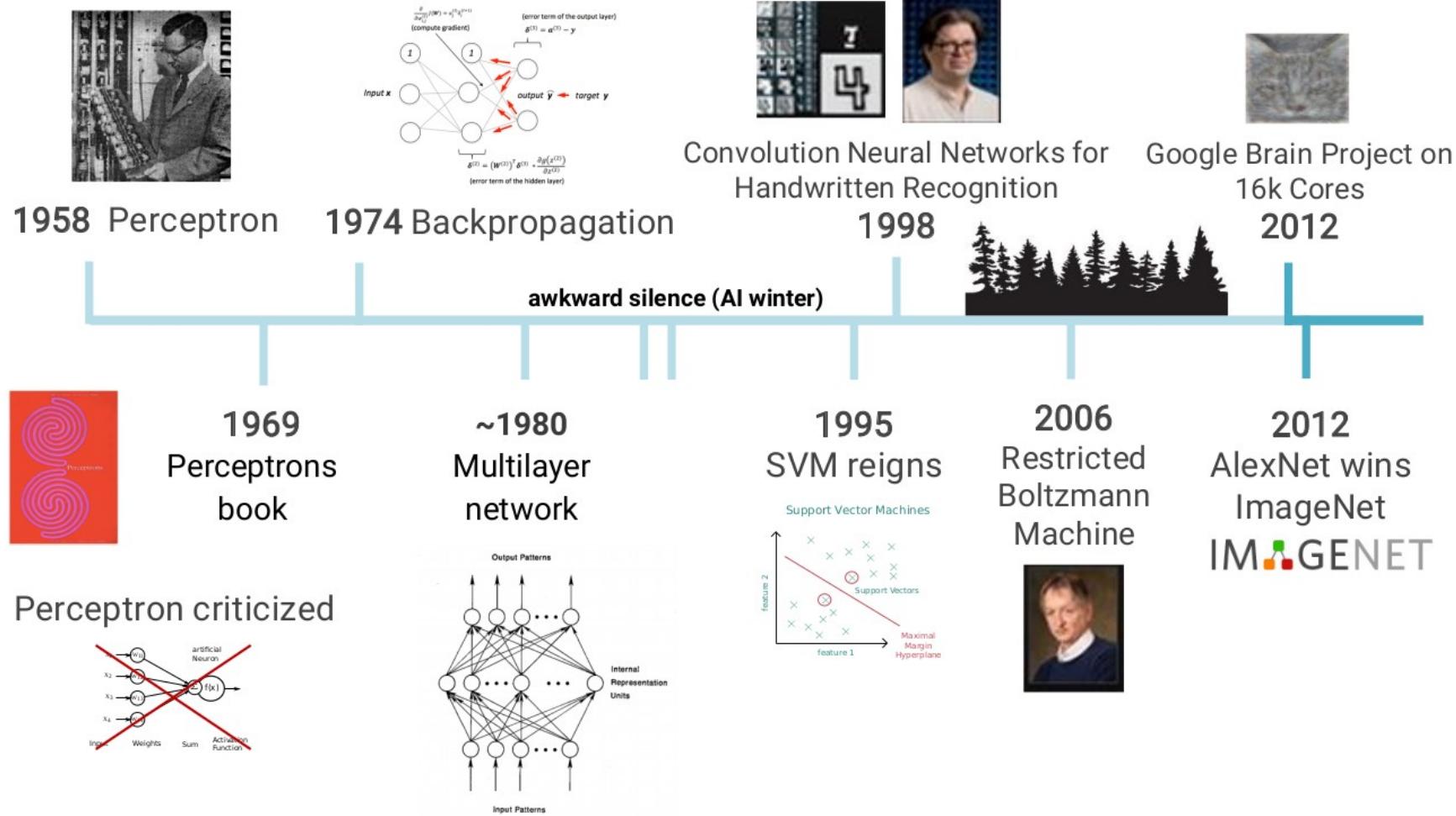
Multi-modalités - Navigation autonome



Source : [Geiger et al., 2012]

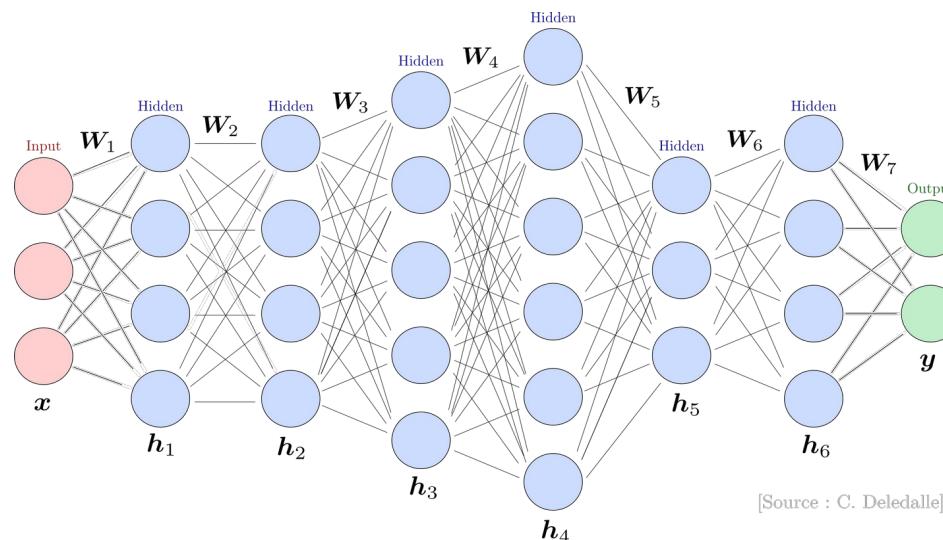
Révolution avec l'apprentissage profond

Chronologie



Principe

- **Réseaux de neurones :**
 - Consiste en l'inter-connexion de petites unités (fonctions paramétriques), appelées neurones.
 - Milliers/millions de paramètres de transformation initialisés aléatoirement et raffinés itérativement grâce à une large base d'images (apprentissage)
- **Apprentissage profond** : multiples couches de neurones inter-connectées
 - Rendu efficace par plusieurs optimisations et implémentation sur GPU



[Source : C. Deledalle]

Lien historique avec l'image → Classification

ImageNet :

- 12 millions d'images étiquetées
- 22 000 classes
- Étiquetées par crowd-sourcing (Amazon Mechanical Turk)

ImageNet challenge (ILSVRC) :

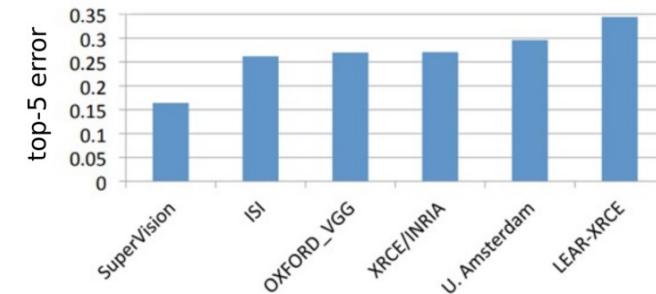
- Challenge annuel depuis 2010
- Limité à 1 000 classes
- 1.2 million d'images de taille 256×256 pour l'entraînement
- 50 000 images pour la validation 100 000 pour le test



Révolution avec l'apprentissage profond

AlexNet (Supervision) (Krizhevsky, Sutskever, Hinton, 2012)

- Large réseaux de neurones à convolution (62.3 millions de paramètres)
- 6 jours d'apprentissage sur 2 GPUs (GTX 580 3GB)
- Utilisation des nouveaux outils d'apprentissage profond (calcul sur GPU, normalisation, optimisation, augmentation de données, ...)
- 1er au challenge ILSVRC2012 avec une erreur top-5 à 16.4% (2e : 26.2%).



→ Explosion de l'apprentissage profond depuis 2010 dans **tous les domaines**

Nouvelles applications

Captioning : Écrire une phrase qui décrit l'action dans l'image



"girl in pink dress is jumping in air."



"black and white dog jumps over bar."



"young girl in pink shirt is swinging on swing."



"man in blue wetsuit is surfing on wave."



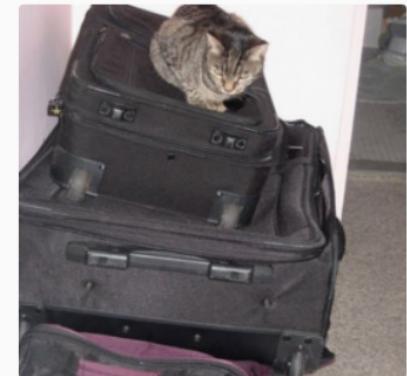
"little girl is eating piece of cake."



"baseball player is throwing ball in game."



"woman is holding bunch of bananas."



"black cat is sitting on top of suitcase."

Nouvelles applications

Transfert de style : Peinture



Source : [Gatys et al., 2015]

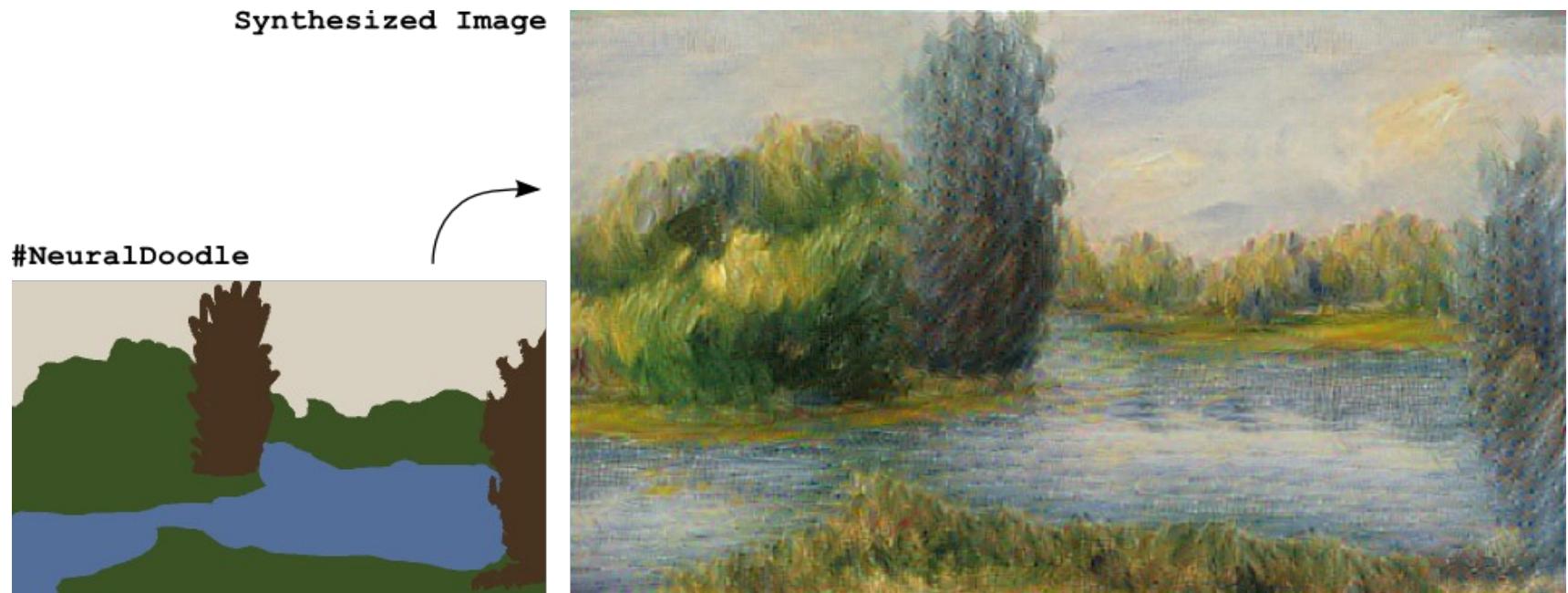
Nouvelles applications

Transfert de style : Peinture



Source : [\[Gatys et al., 2015\]](#)

Transfert de style : Synthèse sémantique de peinture



Source : [Champandard et al., 2016]

Nouvelles applications

Transfert de style : Photo → manga



Nouvelles applications

Transfert de style : Photo → manga



Transfert de style : Réalité augmentée en vidéo

Artistic style transfer for videos

Manuel Ruder
Alexey Dosovitskiy
Thomas Brox

University of Freiburg
Chair of Pattern Recognition and Image Processing

Source : [\[Ruder et al., 2016\]](#)

Nouvelles applications

Synthèse d'images : Mono-classe, faible résolution



Source : [\[Radford et al., 2016\]](#)

Nouvelles applications

Synthèse d'images : Visages réalistes



Source : [\[Karras et al., 2019\]](#)

Synthèse d'images : depuis une phrase descriptive

'A painting of a squirrel eating a burger'



'A watercolor painting of a chair that looks like an octopus'



'A shirt with the inscription: "I love generative models!"'



Nouvelles applications

Synthèse d'images : depuis une phrase descriptive

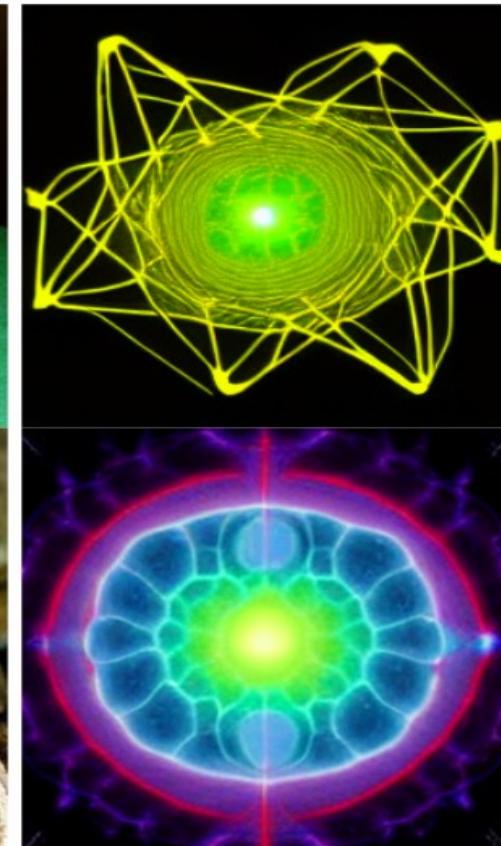
'A zombie in the style of Picasso'



'An image of an animal half mouse half octopus'



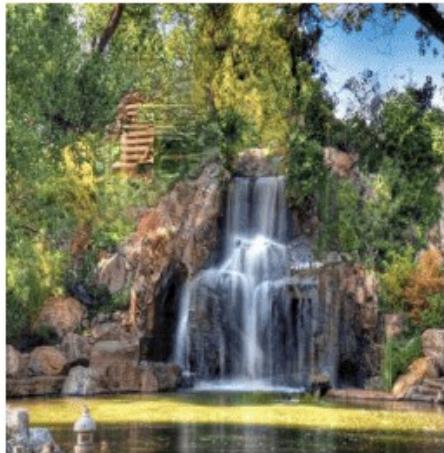
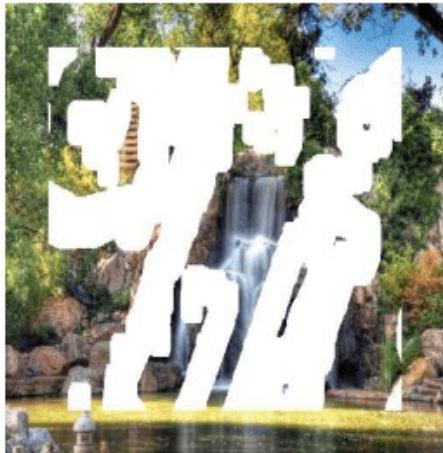
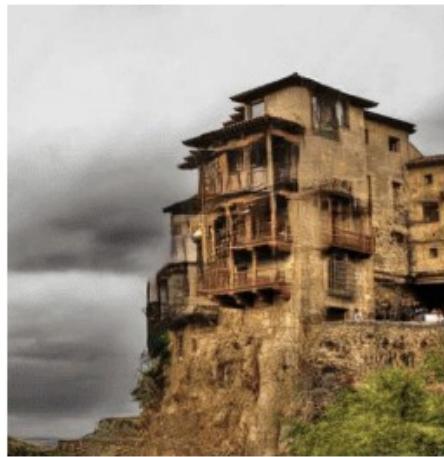
'An illustration of a slightly conscious neural network'



Source : [Rombach, et al., 2021]

Nouvelles applications

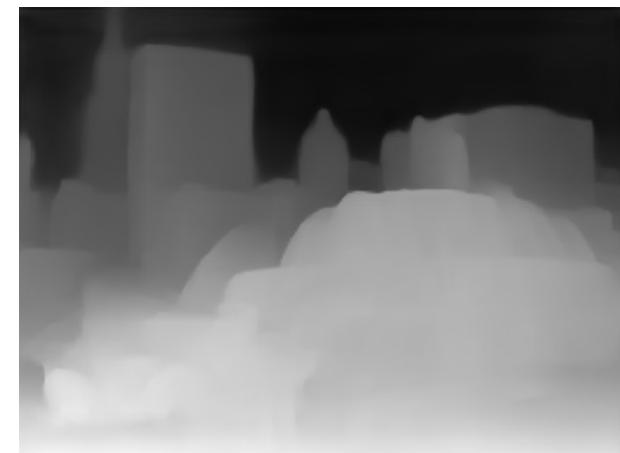
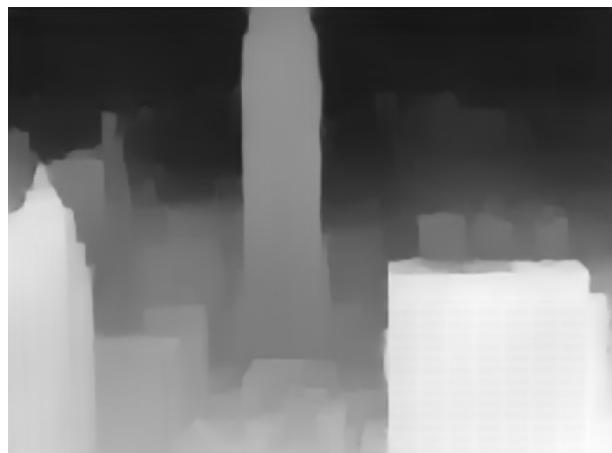
Inpainting++



Source

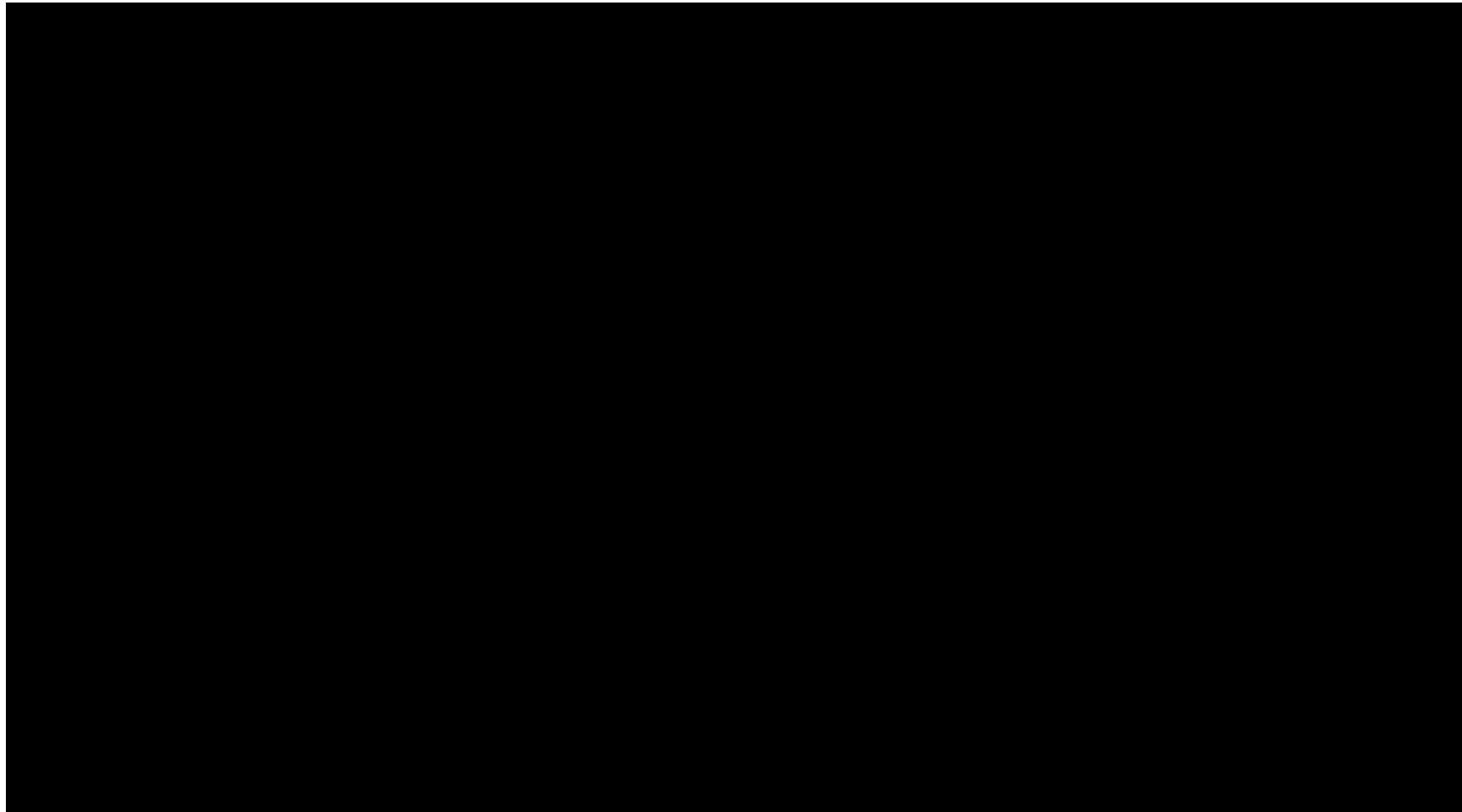
Nouvelles applications

Estimation de profondeur depuis une image 2D



Source : [Li et al., 2018]

Simulation de 3D par inpainting de profondeur et d'image



Source : [Shih et al., 2020]

Nouvelles applications

Assistance par reconnaissance d'objets en temps-réel



Source

TECH
INSIDER
UK

Réalité augmentée – Traduction



Source

TOP 15 des applications gratuites de réalité augmentée

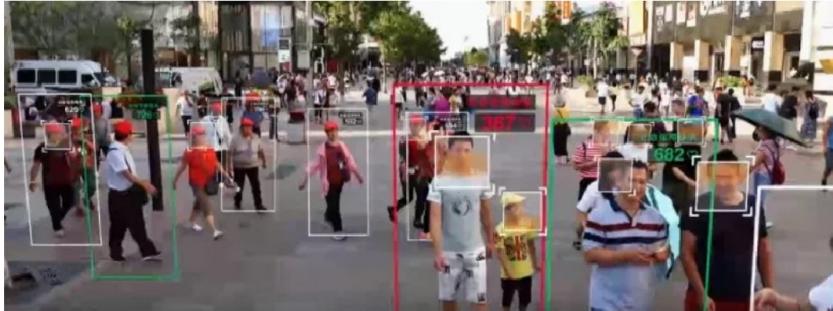
Réalité augmentée – Jeu vidéo



Nouveaux risques

Vidéo surveillance

Outil de contrôle / Abus ?



The Chinese state wants to control its citizens via a system of social scoring that punishes behavior it doesn't approve of. Image Credit: Telecoms

Navigation autonome

Responsabilité en cas d'accident ?



Tesla said autopilot was activated during a fatal Model X crash last week in California.

Génération automatique de contenus (vidéo, image, son)

Preuve de l'authenticité ?



Vidéo de Vladimir Poutine interviewé par son double DeepFake

Graphistes ?



Image générée automatiquement par Midjourney

Propriété intellectuelle ?



Générique de One Piece chanté par Johnny Hallyday

DeepFake

Let's play !

Plan du cours

- **Introduction**
- **Formation / Acquisition**
- **Image numérique**
 - Format/Affichage/Synthèse
 - Espaces couleur caractéristiques : compression, esquisse, illusion
- **Traitements**
 - Filtrage linéaire / non linéaire : débruitage, anonymisation
 - Détection de contours : réhaussement de contraste
- **Transformée de Fourier**
 - Application : recouvrement fréquentiel
- **Compression d'images**
 - Application : algorithme JPEG
- **Transformation spatiales**