

# Des algorithmes pour fabriquer l'image finale

## Fonctionnement d'un appareil photo numérique

# Introduction

# Introduction

Il est impossible de prendre cette photo !



Crédit : image originale de Muhammad Mahdi Karim, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

3 / 42

# Introduction

... elle a été fabriquée à partir de plusieurs autres



Mise au point avant



Mise au point arrière



Image obtenue en fusionnant 6 images avec des mises au point différentes

Crédit : Muhammad Mahdi Karim, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

# Introduction

Cette scène n'a jamais existé...



Source : [layersmagazine.com](http://layersmagazine.com)

# Introduction

... c'est la fusion de plusieurs images



Before: The guy in the middle isn't smiling



Before: The woman on the right is squinting



After: Parts of the two photos are combined to make one perfect group shot

Source : [layersmagazine.com](http://layersmagazine.com)

# Introduction

Pourquoi la photo que vous prenez avec votre téléphone est-elle prise *avant* que vous appuyez sur le déclencheur ?



Crédit : broamer\_merta, via Pixabay

# Introduction

Comment fait un téléphone pour produire de belles photos avec des photosites *des dizaines de fois plus petits* qu'un appareil standard ?

Comment fait un téléphone pour produire de belles photos avec des photosites *des dizaines de fois plus petits* qu'un appareil standard ?

**Réponse** : avec d'*excellents algorithmes* et un usage intensif de la *fusion d'images multiples* (utilisés aussi par les APN modernes)

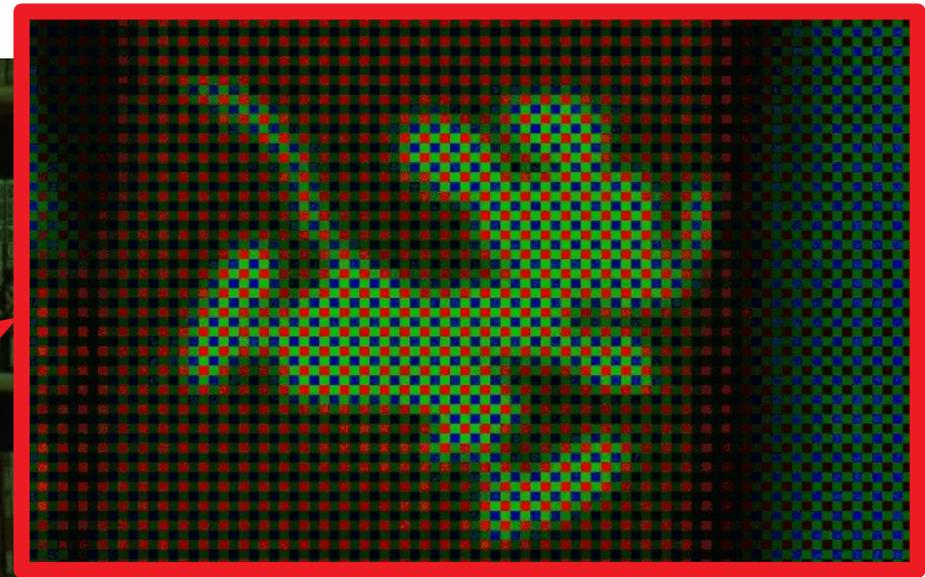
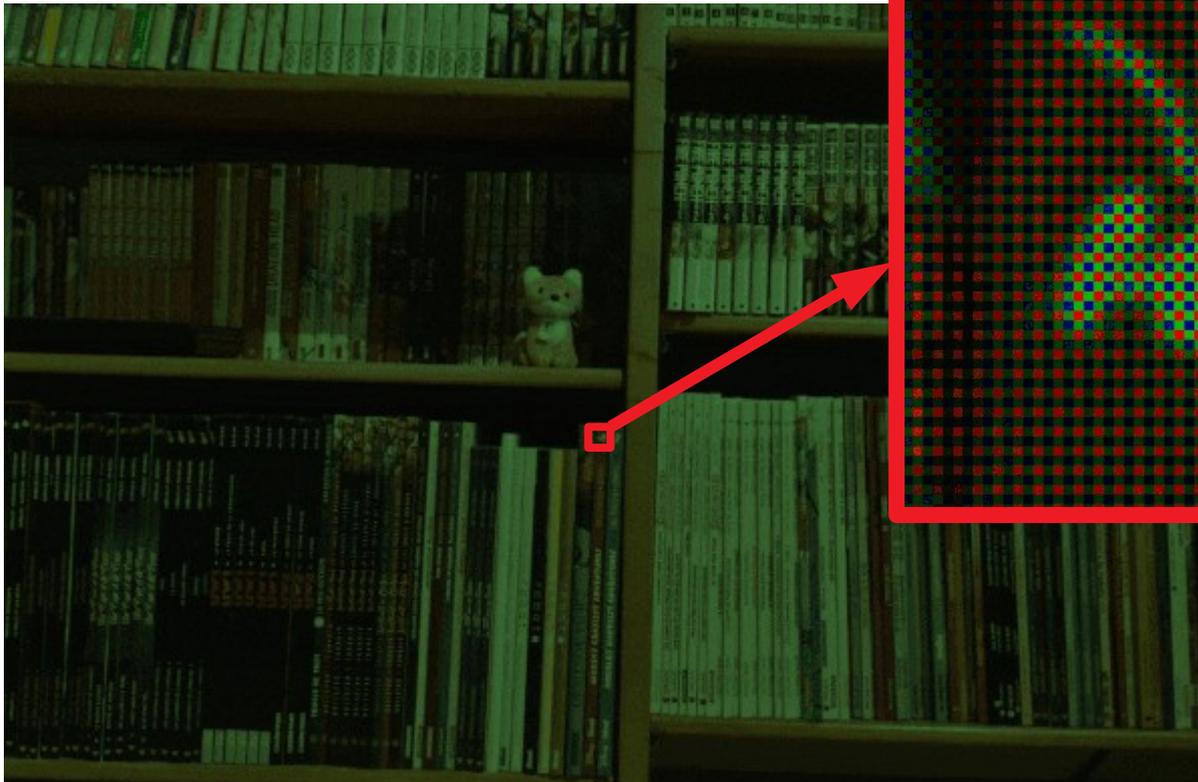
# Introduction

- On a vu que l'APN **capte la lumière, la convertit en données numériques** brutes pour obtenir l'image RAW (crue)
- **Tout ce qui suit... ce sont des algorithmes !**
  - Dématriçage (derawtisation)
  - Balance des blancs
  - Lumière : correction de l'exposition
  - Rendu des couleurs : saturation des couleurs
  - Netteté (micro-contraste) et réduction du bruit
  - Suppression des défauts de la physique (vignettage, distorsion, perspective)
  - Beaucoup d'améliorations par fusion d'images

# Dématriçage

# Dématriçage

- C'est un algorithme fondamental qui permet de créer une image de pixels (RVB) à partir des données brutes du fichier RAW
- *Rappel* : image RAW = mosaïque de carrés R, V et B plus ou moins sombres qui représentent la lumière captée par chaque photosite



Crédit : Toutes les images de la bibliothèque proviennent de l'article rédigé sur [zestedesavoir.com](http://zestedesavoir.com) par SpaceFox, CC BY 4.0.

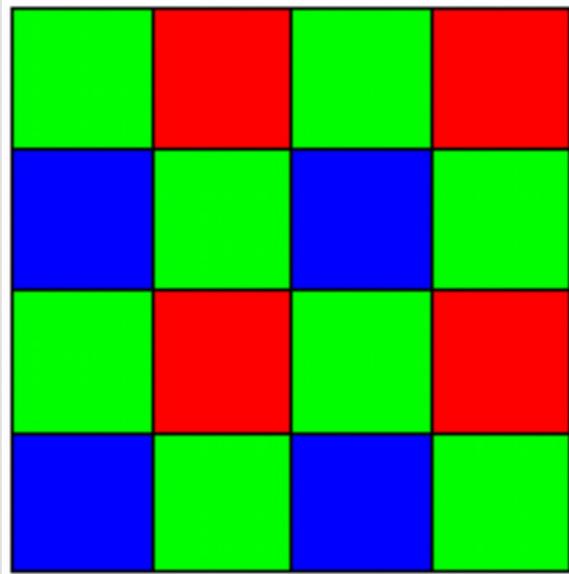
Une image RAW

# Dématriçage

- Algo de dématriçage = passer de carrés mono-colores (RAW) à des pixels ayant chacun 3 composantes RVB
- Voici un algorithme très simple :
  - Convertir les valeurs numériques sur 8 bits
  - Regrouper les carrés mono-colores par blocs 2\*2
  - Créer un pixel RVB à partir de chaque bloc en prenant les valeurs R et B et la moyenne des deux carrés verts

# Dématriçage

- Exemple



Disposition des photosites

4095	4095	4095	3212
4095	3404	3131	2730
2409	1991	1574	369
803	993	3694	594

Valeur numérique de chaque photosite sur 12 bits

255	255	255	200
255	212	195	170
150	124	98	23
50	62	230	

Conversion sur 8 bits

255	255
255	212

Donne un pixel



$$R = 255$$

$$V = (255 + 212) / 2 = 233,5$$

$$B = 255$$



$$(255, 233, 255)$$



# Dématriçage (résultat)

- En pratique, les algos sont plus complexes et chaque pixel est créé à partir des infos de plusieurs carrés mono-couleurs voisins.



# Améliorations diverses

# Améliorations diverses

- **Balance des blancs** : pour rendre les blancs plus blancs, le reste des couleurs sont ajustées proportionnellement



# Améliorations diverses

- **Lumière** : un algorithme de correction de l'exposition est appliqué pour « mettre de la lumière »



# Améliorations diverses

- **Rendu des couleurs** : on sature les couleurs : le rouge devient plus rouge, le vert plus vert, le bleu plus bleu



# Améliorations diverses

- **Réduction du bruit** : on « élimine » les bruits numériques (= informations parasites qui produisent des « grains »)



# Améliorations diverses

- **Réduction du bruit** : on « élimine » les bruits numériques (= informations parasites qui produisent des « grains »)



# Améliorations diverses

- **Netteté** : on augmente les micro-contrastes



# Suppression des défauts de la physique

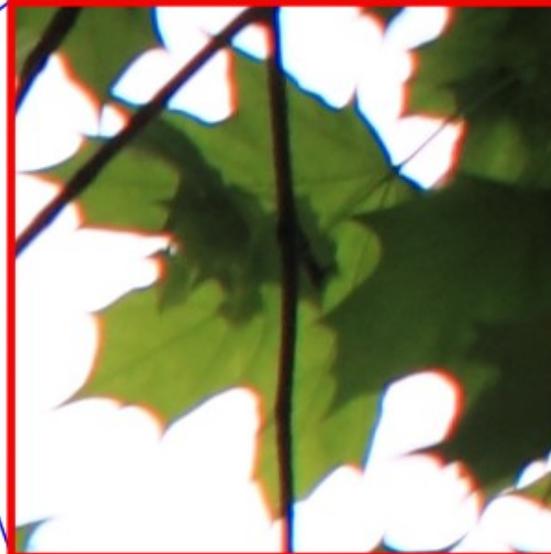
# Suppression des défauts de la physique

- **Aberrations chromatiques**

Photo intégrale



Détail en périphérie de la photo



Avant traitement

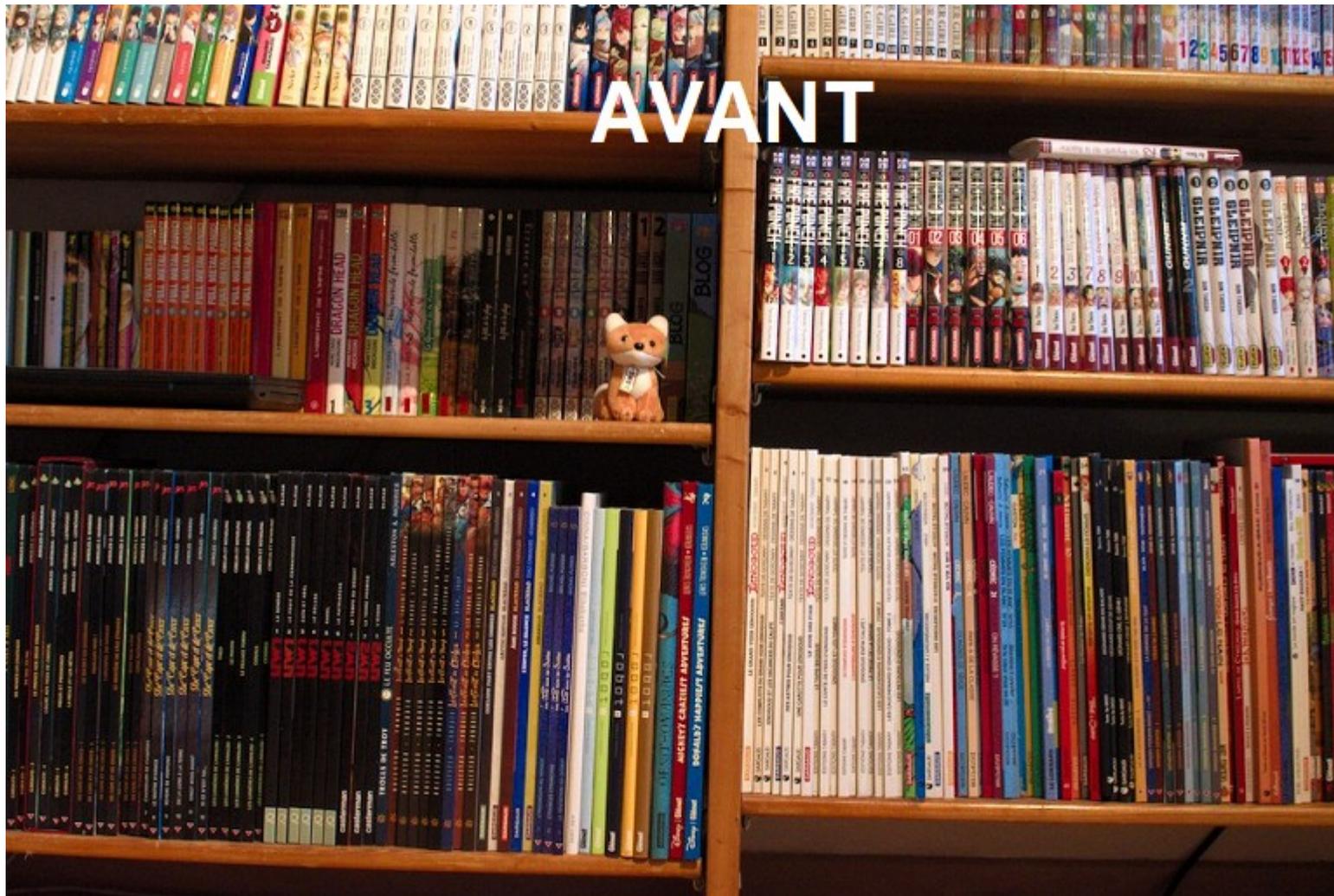


Après traitement

Crédit : Eric Bajart, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

# Suppression des défauts de la physique

- **Distorsions et vignettage** (surtout dans les angles) : on corrige les déformations et on éclaircit les angles



# Suppression des défauts de la physique

- **Distorsions et vignettage** (surtout dans les angles) : on corrige les déformations et on éclaircit les angles



# Fusion d'images

# Fusion d'images

- **Focus-stacking (= empilement des mises au point)**



Mise au point avant



Mise au point arrière



Image obtenue en fusionnant 6 images avec des mises au point différentes

Crédit : Muhammad Mahdi Karim, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

25 / 42

# Introduction

- **Sourires et yeux fermés :**



Before: The guy in the middle isn't smiling



Before: The woman on the right is squinting



After: Parts of the two photos are combined to make one perfect group shot

Source : [layersmagazine.com](http://layersmagazine.com)

# Fusion d'images

- **Panorama**



Crédit : FelixMittermeier , via Pixabay

27 / 42

# Fusion d'images

- **HDR (High Dynamic Range)** : on garde la meilleure exposition



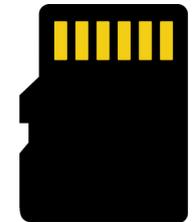
Crédit : © Fabien Beilhe, [www.fabienbeilhe.com](http://www.fabienbeilhe.com), avec son aimable autorisation

28 / 42

# Compression

# Compression

- **Compression = algorithme qui permet de diminuer la taille des fichiers**
- Une fois tous les algorithmes de développement de l'image appliqués, l'image est enregistrée dans un format compressé, souvent JPEG.
- Image RAW :
  - Format non compressé
  - Taille du fichier importante
  - Pas de perte d'information donc qualité optimale
- Image enregistrée au format JPEG :
  - Format compressé
  - Taille du fichier réduite
  - Perte d'information donc qualité réduite (mais satisfaisante)



# Compression

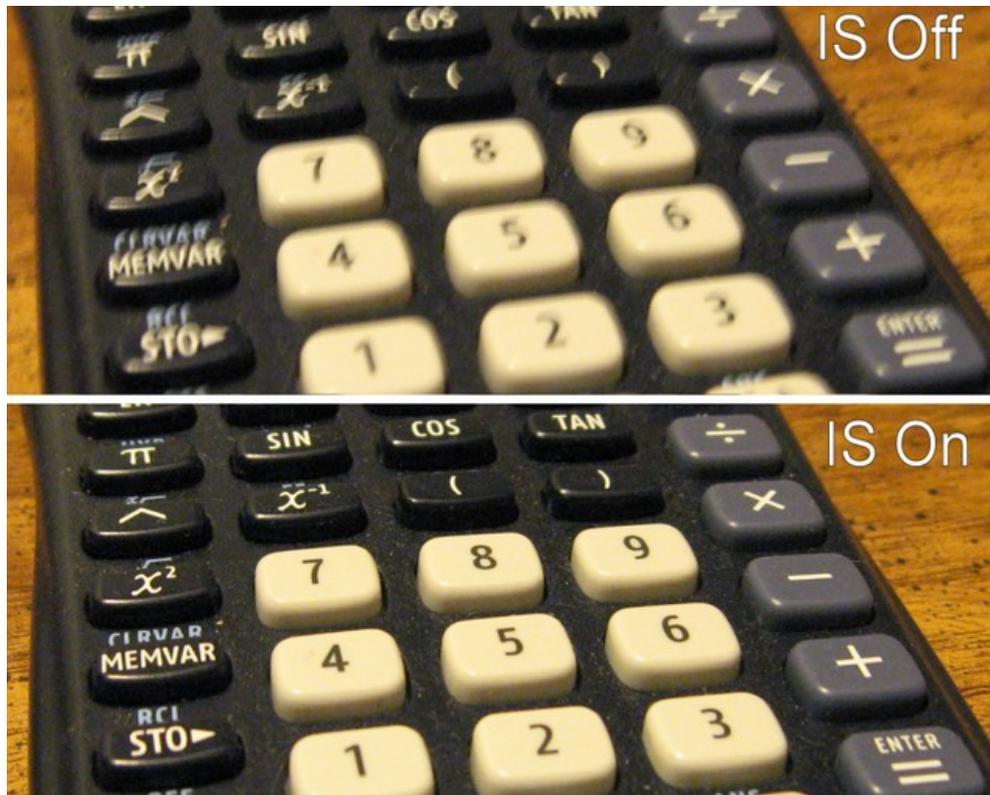
- Voici l'image au format JPEG



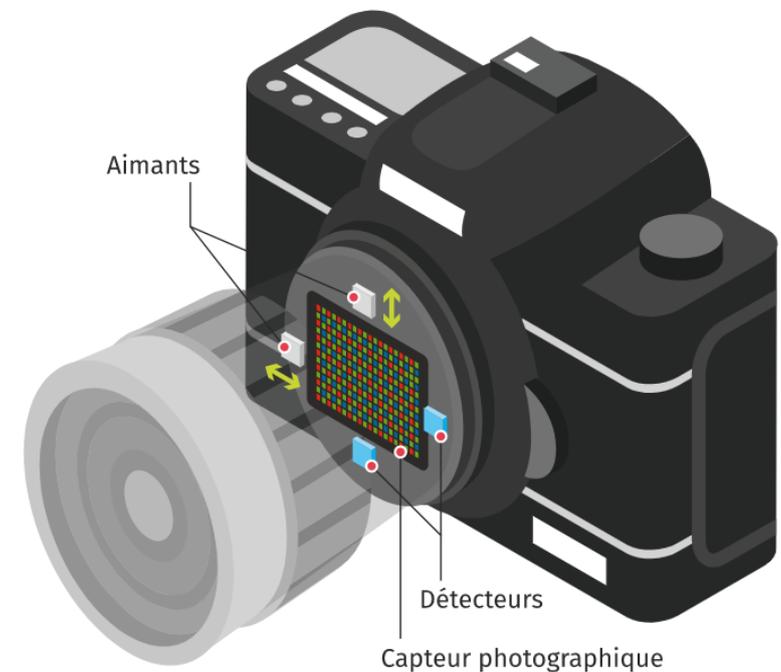
**Et aussi avant la prise de vue !**

# Et aussi avant la prise de vue !

- **Stabilisation** (optique et numérique) : pour obtenir une image nette en compensant les mouvements du photographe et les mouvements des objets de la scène



Crédit : Dave.Hulick, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons



Crédit : lelivrescolaire.fr, CC BY-NC-SA

# Et aussi avant la prise de vue !

- **Différentes aides à la mise au point :**
  - Autofocus
  - Focus manuel (lorsqu'on touche une zone de l'écran)
  - Focus-peaking (les zones nettes sont entourées d'un liseré coloré, en temps réel)
  - Détection de visages



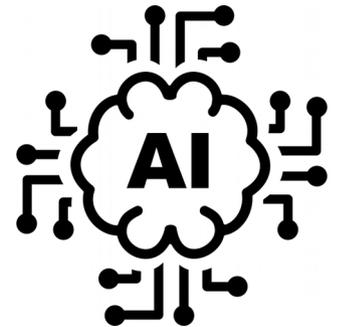
**Focus-peaking.**

Crédit : Bautsch, CC0, via Wikimedia Commons

**Et l'IA dans tout cela ?**

# Et l'IA dans tout cela ?

- Dans les smartphones, l'Intelligence Artificielle (techniques d'apprentissage automatique) est principalement utilisée pour deviner la nature des éléments de la scène
- Les algorithmes peuvent désormais directement être intégrés dans les téléphones (processeurs spécifiques)
- Exemples d'utilisation :
  - Adaptation des couleurs, des contrastes de la profondeur de champ en fonction des éléments
  - Pour garder les parties intéressantes lorsqu'il y a fusion de plusieurs images (zones nettes, sourires, etc.)



# Et l'IA dans tout cela ?

- Si une personne détectée au premier plan alors :
  - Passage en mode portrait
  - Image HDR prise
  - Détection de contours (→ grâce à l'apprentissage automatique)
  - Calculs de la distance entre le téléphone et chaque point de l'image (grâce au(x) capteur(s) de l'appareil) → carte de profondeur
  - L'image est floutée en tenant compte de la carte de profondeur et du masque de détection de la personne



Image HDR  
en mode portrait



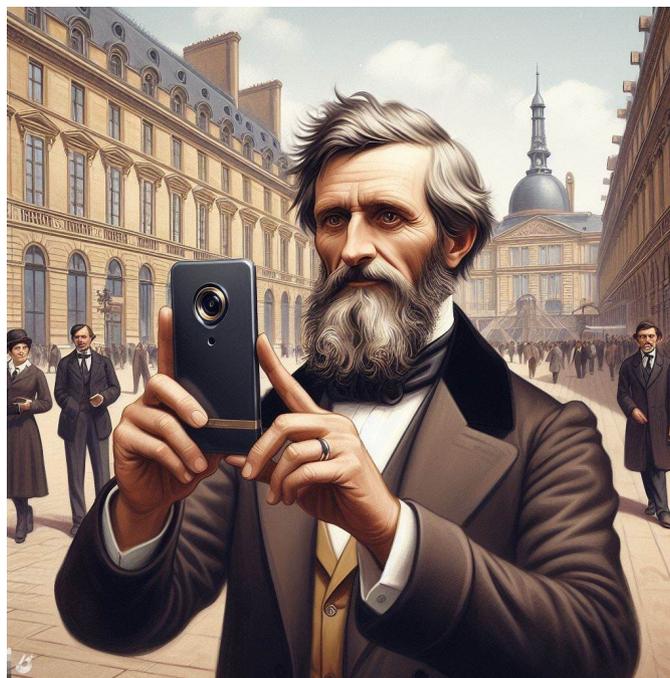
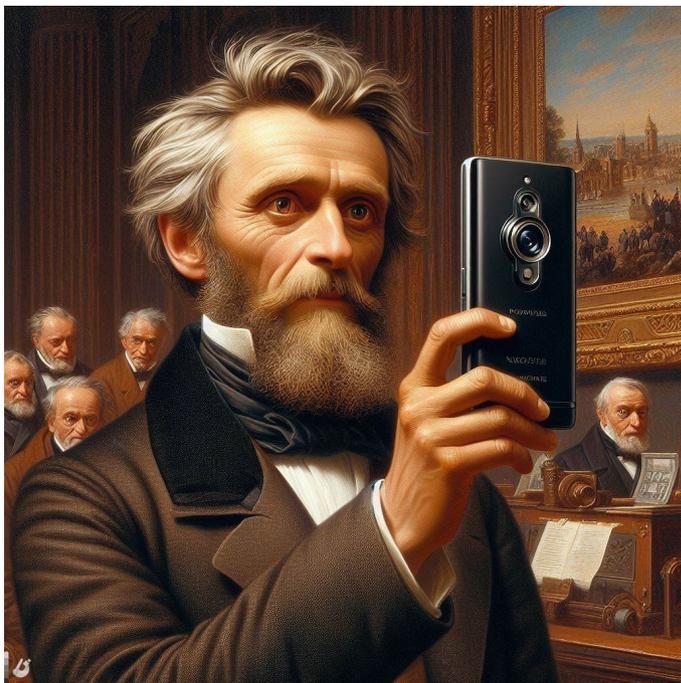
Détection de la personne  
(algorithmes d'apprentissage auto)



Les pixels du fond sont floutés

# Et l'IA dans tout cela ?

- Supprimer l'arrière-plan d'une image : [remove.bg/fr](https://remove.bg/fr)
- Créer une image à partir d'un texte : <https://copilot.microsoft.com/>  
Ci-dessous : images générées à partir du texte « Nicéphore Niepce prenant une photo avec un smartphone »



# Et l'IA dans tout cela ?



“A Cezanne style painting of a poledancer in front of a lake”

**M** Mathieu × DALL-E  
Human & AI

Images créées par :  
[openai.com/dall-e-2](https://openai.com/dall-e-2)  
Source : [Compte Twitter](#) de  
Mathieu Nebra

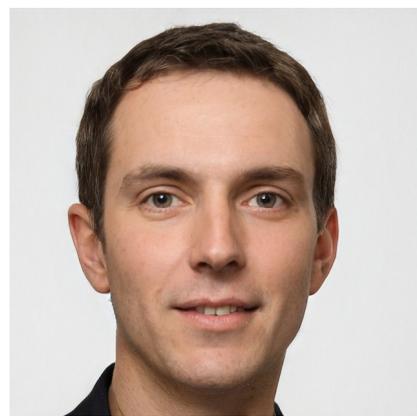


“A photorealistic 3D render of a penguin with sunglasses dancing on the sea”

**M** Mathieu × DALL-E  
Human & AI

# Et l'IA dans tout cela ?

- Créer des portraits de personnes : [thispersondoesnotexist.com](https://thispersondoesnotexist.com)  
→ Une seule de ces personnes existe réellement, laquelle ?



# Crédits

- **11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 31** SpaceFox, CC BY-SA 4.0, [zestedesavoir.com](http://zestedesavoir.com)
- **28** © Fabien Beilhe, tous droits réservés, [fabienbeilhe.com](http://fabienbeilhe.com)  
(avec son aimable autorisation)
- **30 g** <sup>TM</sup>/<sup>®</sup>**Joint Photographic Experts Group**, Domaine public, via Wikimedia Commons
- **30 d** [uxwing.com](http://uxwing.com)
- **36** [uxwing.com](http://uxwing.com)
- **37 g et d** Sam Kweskin, source : [Isaac Reynolds](#) (Product Manager, Google)
- **39** Mathieu Nebra, voir son [tweet](#)
- **40 ht 3ème photo** [Nothing Ahead](#), via Pexels

Les autres sources sont citées directement dans les transparents.

# Références

- Gérard Berry, « *La photographie numérique, un parfait exemple de la puissance de l'informatique* », conférence en vidéo donnée au collège de France, support de la présentation (pour la plupart des informations)
- Gérard Berry, « L'hyperpuissance de l'informatique », Odile Jacob, 2017. [Lien](#) vers le livre.
- SpaceFox, « Votre appareil photo vous ment », article publié sur le site [zestedesavoir.com](http://zestedesavoir.com)
- Article Wikipedia : [Dématriçage](#)
- Article « Comment Google utilise l'IA pour améliorer les photos sur le Pixel 2 », sur [presse-citron.net](http://presse-citron.net)
- Article de blog de Isaac Reynolds : [blog.google](http://blog.google)