

La photographie numérique, un parfait exemple de la puissance de l'informatique

Gérard Berry

Collège de France

Chaire Algorithmes, machines et langages

Cours du 31 janvier 2018, Inria Lille Nord-Europe

gerard.berry@college-de-france.fr

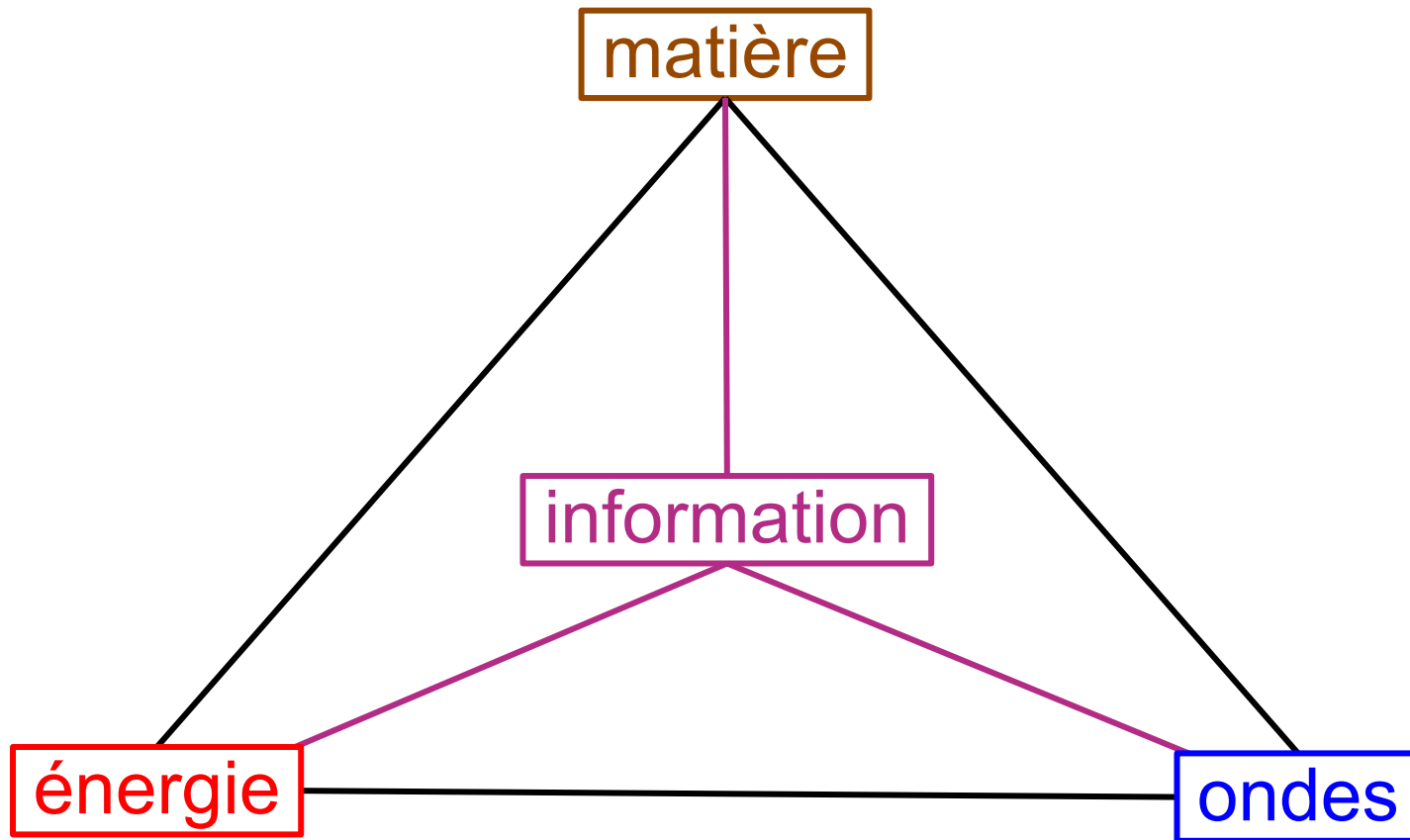
<http://www-sop.inria.fr/members/Gerard.Berry>



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

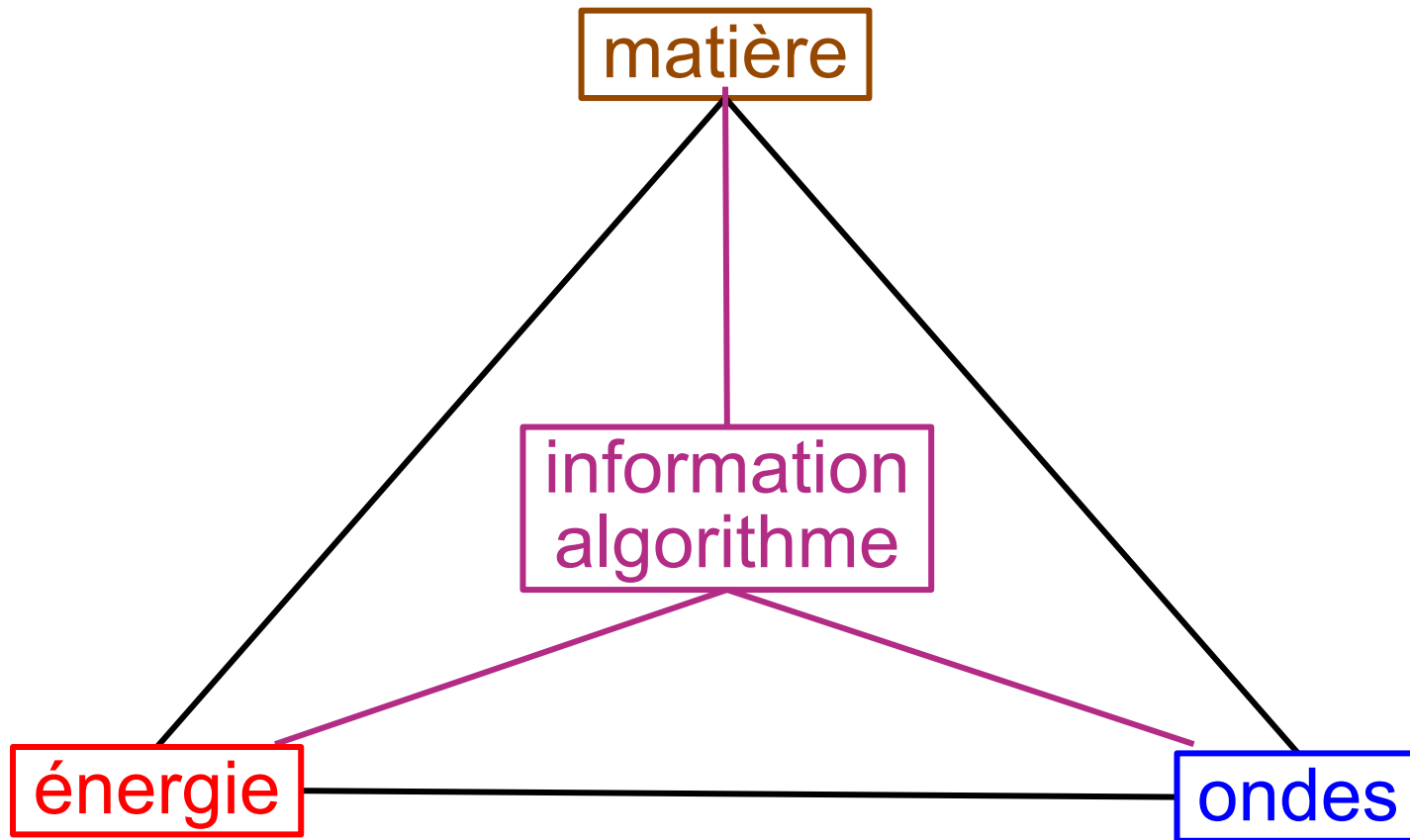
Inria
informatiques mathématiques

Sciences et industries, du 19^e au 21^e siècle



L'information, ça ne pèse pas, ne sent pas, ne brûle pas, mais se conserve, se recopie et se transmet parfaitement

Sciences et industries, du 19^e au 21^e siècle

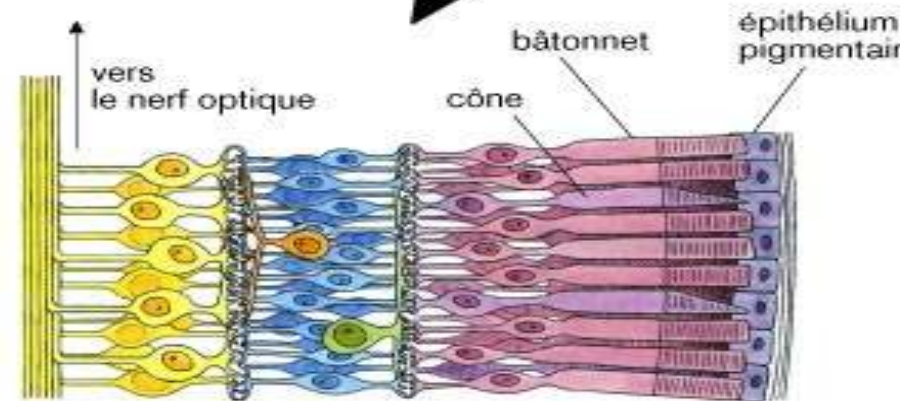
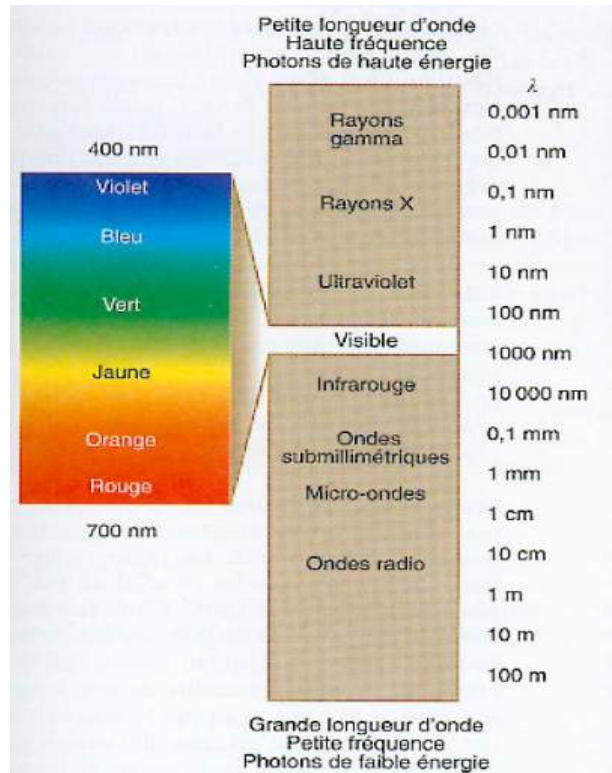
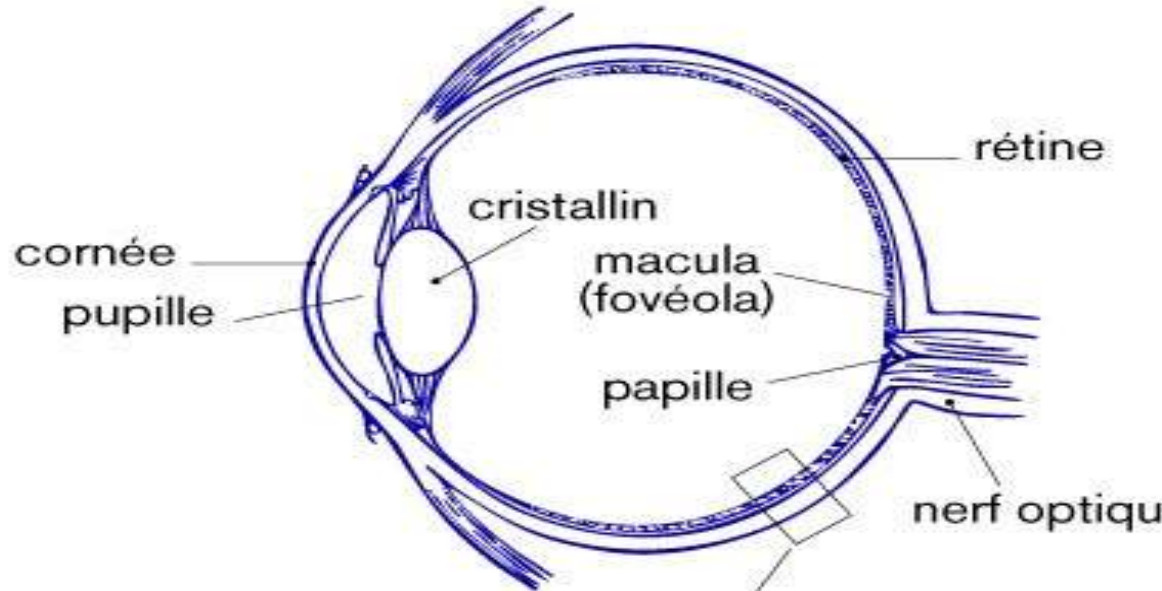
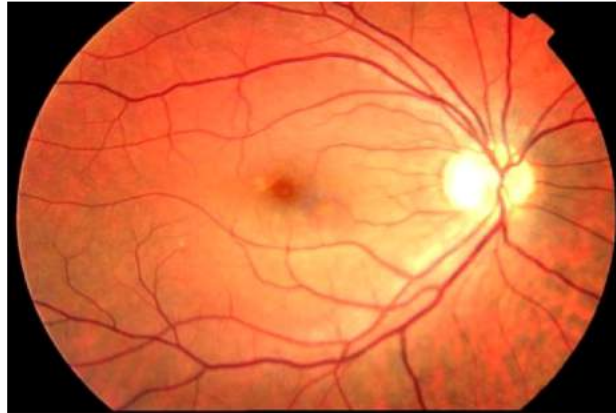


L'information, ça ne pèse pas, ne sent pas, ne brûle pas, mais se conserve, se recopie et se transmet parfaitement

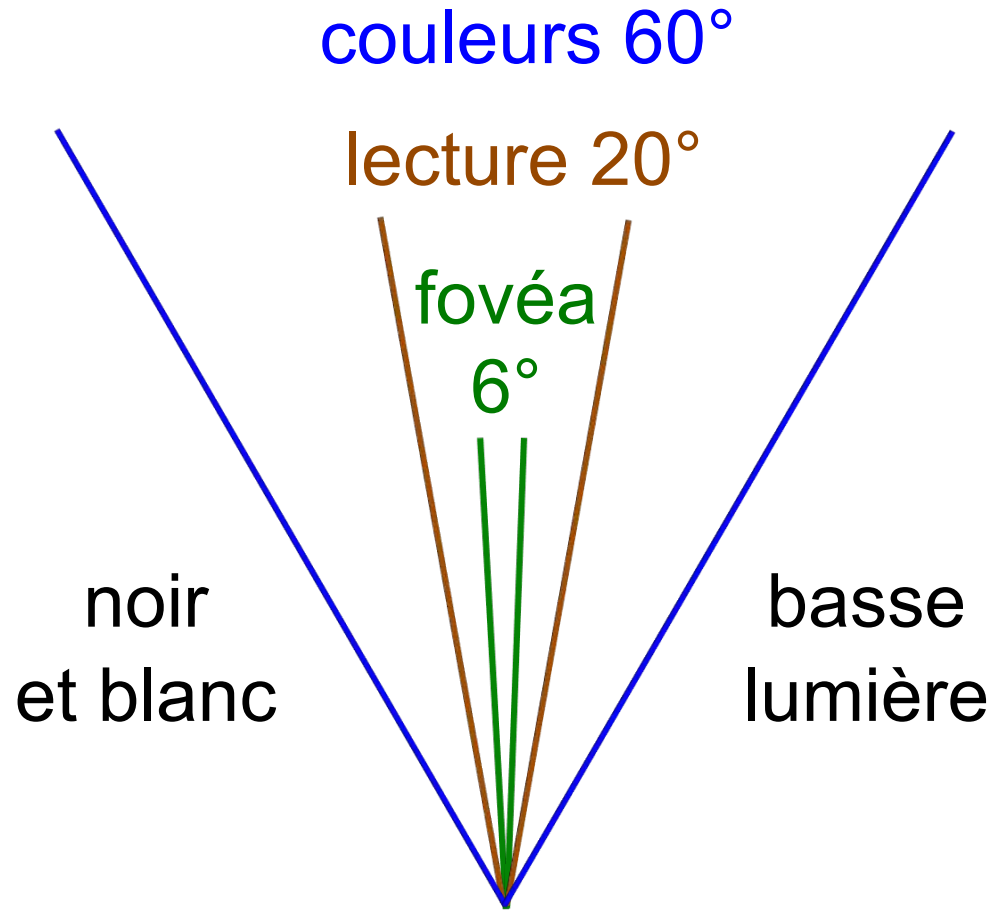
Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?

L'œil humain

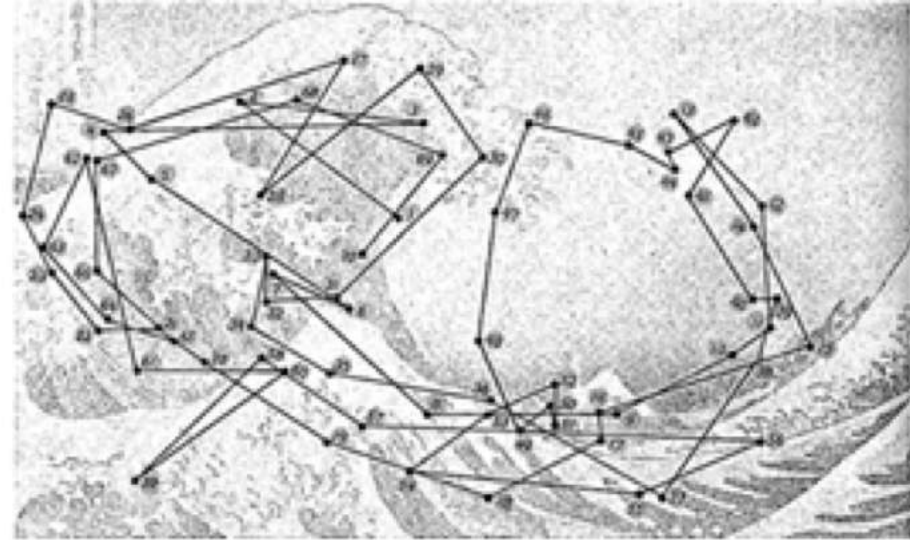


Que voit notre œil ?



Et l'œil voit surtout ce qui bouge...

Quand ca ne bouge pas



source Gibson, 1950

L'œil balaye constamment la scène
en **s'adaptant constamment**
à la distance et à la lumière

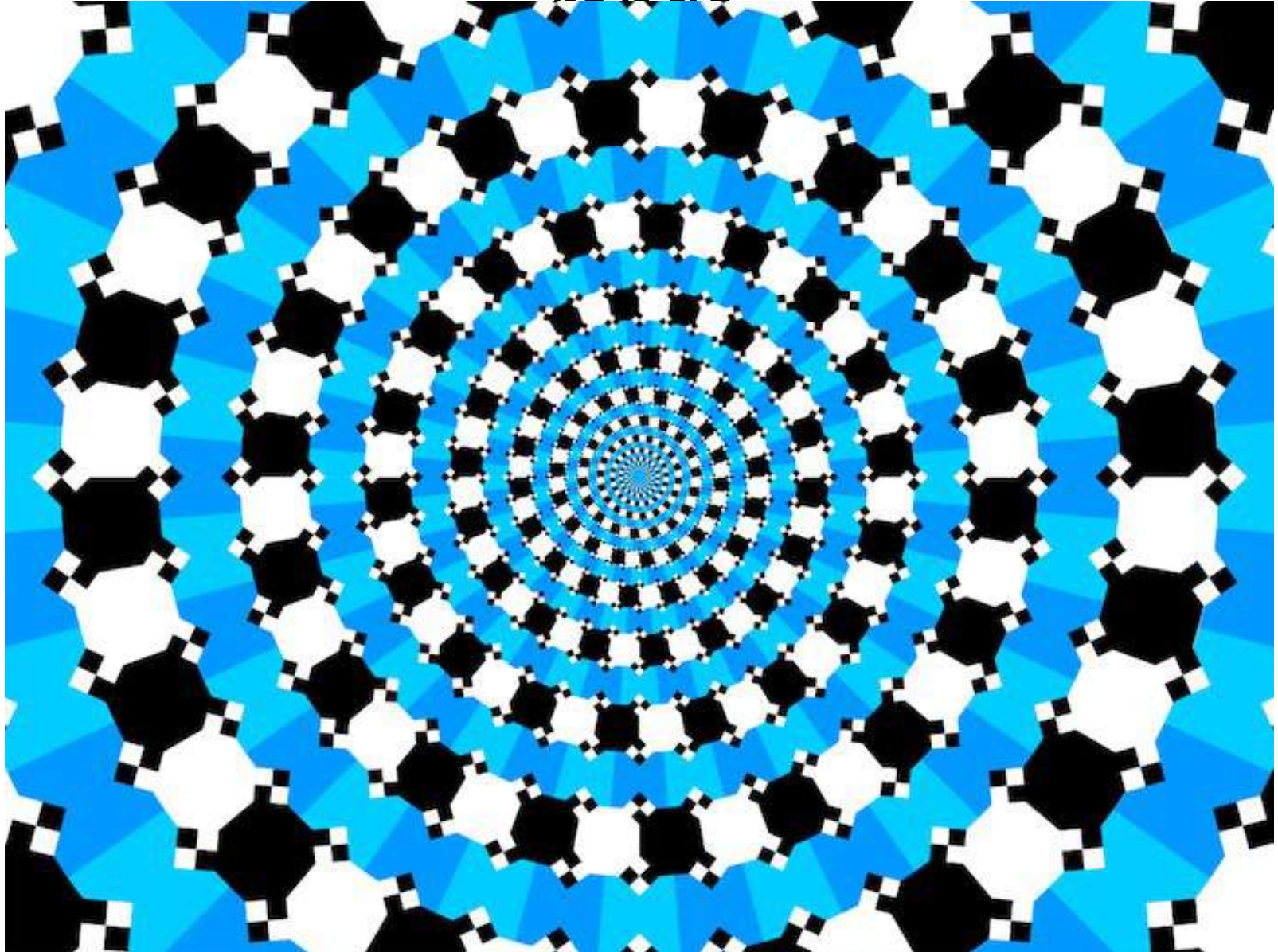
De l'œil au cerveau et à la perception

Rétine = extraordinaire système de traitement du signal,

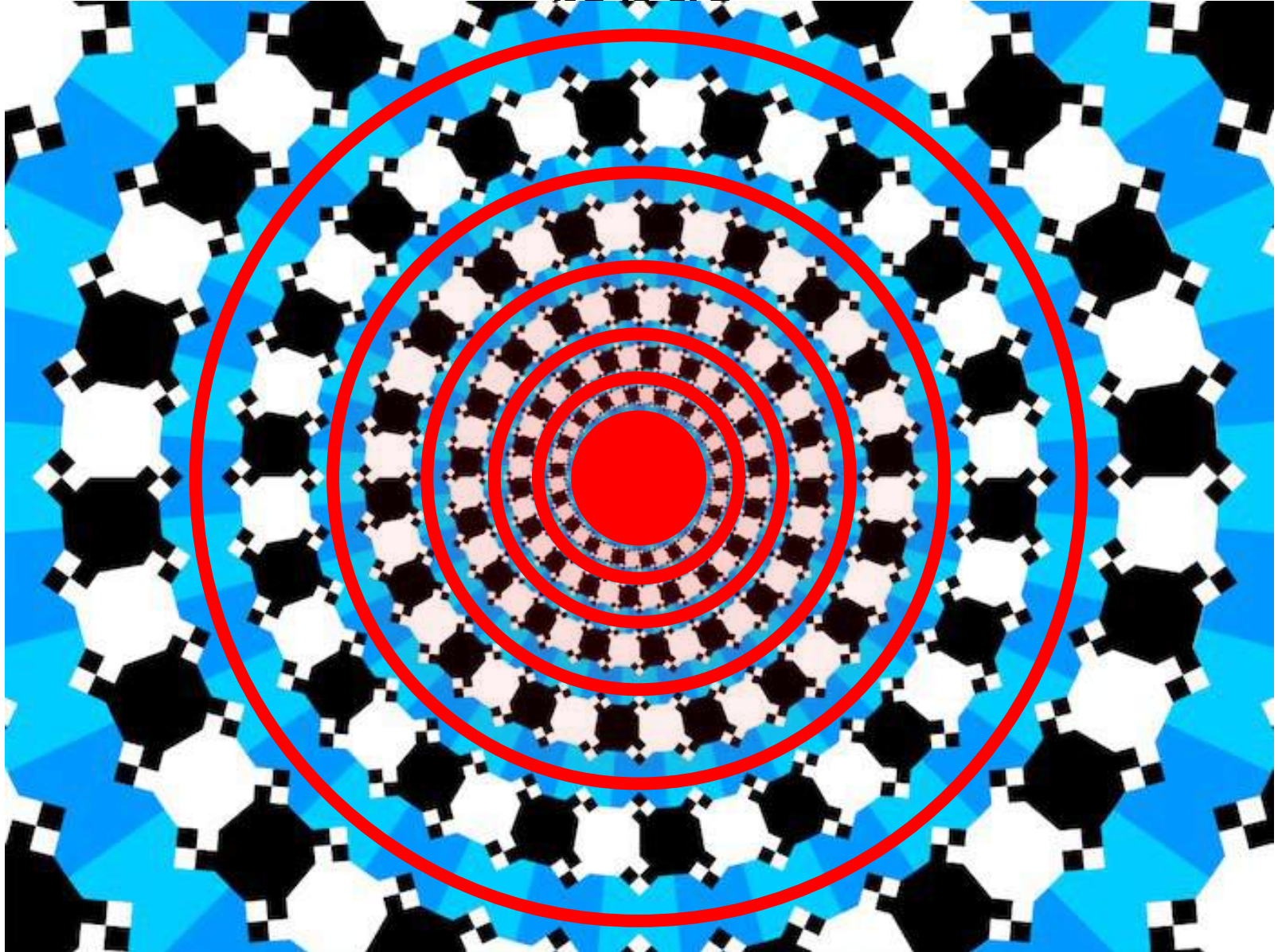
Cortex visuel = grand système algorithmique
de réalité virtuelle

⇒ l'image que nous croyons voir n'est qu'une grande
reconstitution algorithmique

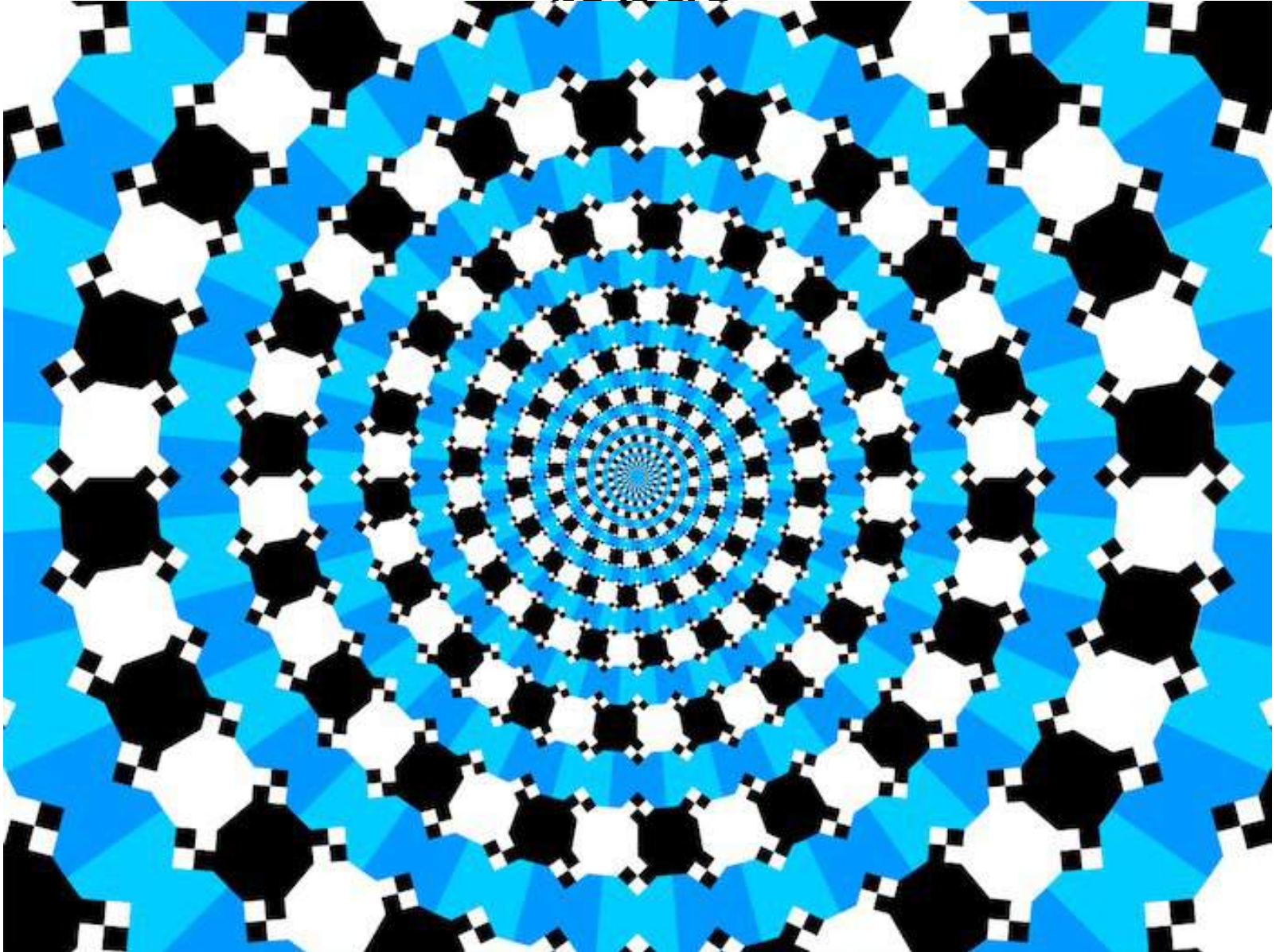
Avec de jolis bugs : ici, que des cercles



Avec de jolis bugs : ici, que des cercles



Avec de jolis bugs : ici, que des cercles



Mais la photographie, c'est différent !



*Photo G. Berry
Bangalore, 2017*

Pas d'adaptation à la distance → **flou d'arrière-plan**

Mais la photographie, c'est différent !



Pas d'adaptation à la lumière → **balance des blancs**

La photographie est un trucage de la réalité
pour mieux la mettre en valeur !

Photo numérique = trucage cyber-physique

- Faire croire au cerveau qu'il voit une vraie scène, même s'il ne voit pas la photo comme une scène
- Il faut des trucages visuels :
 - correction de la **balance des blancs**
 - lumière uniforme \Rightarrow **modification de sa dynamique**
 - mis au point uniforme \Rightarrow **flou d'arrière plan** pour détacher le sujet
 - profondeur de champ uniforme \Rightarrow **extension artificielle**
 - ...

Mélange fin de physique et d'algorithmique
de plus en plus dominé par l'algorithmique

Références

- Cours de José-Alain Sahel au Collège de France,
Voir encore, la restauration visuelle en perspective
<http://www.college-de-france.fr/site/jose-alain-sahel/index.htm>
- Séminaire de Botond Roska dans ce cours
The First Steps in Vision: Real and Imaginary Processes
<http://www.college-de-france.fr/site/jose-alain-sahel/seminar-2016-02-17-11h30.htm>



José-Alain Sahel

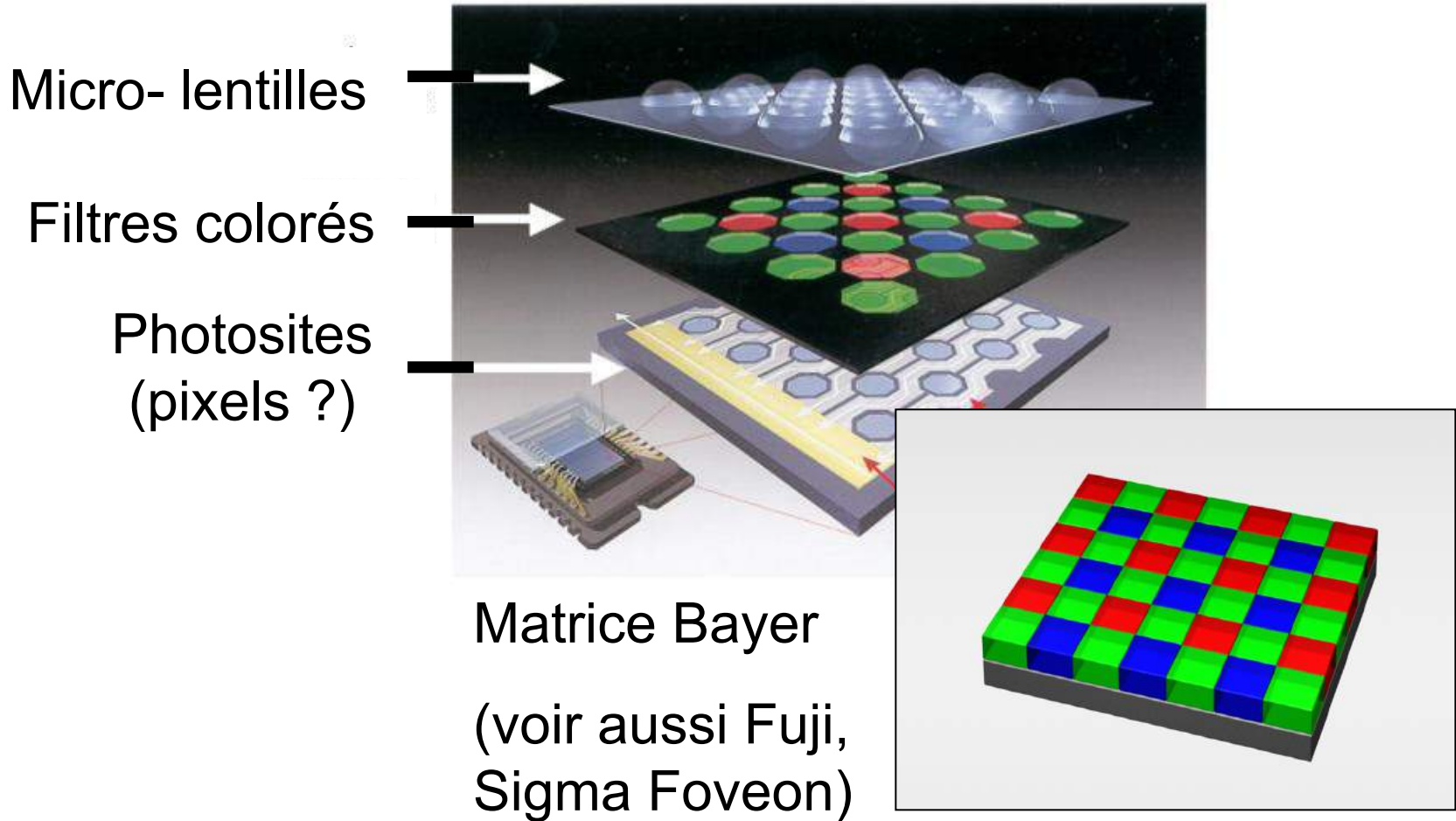


Botond Roska

Agenda

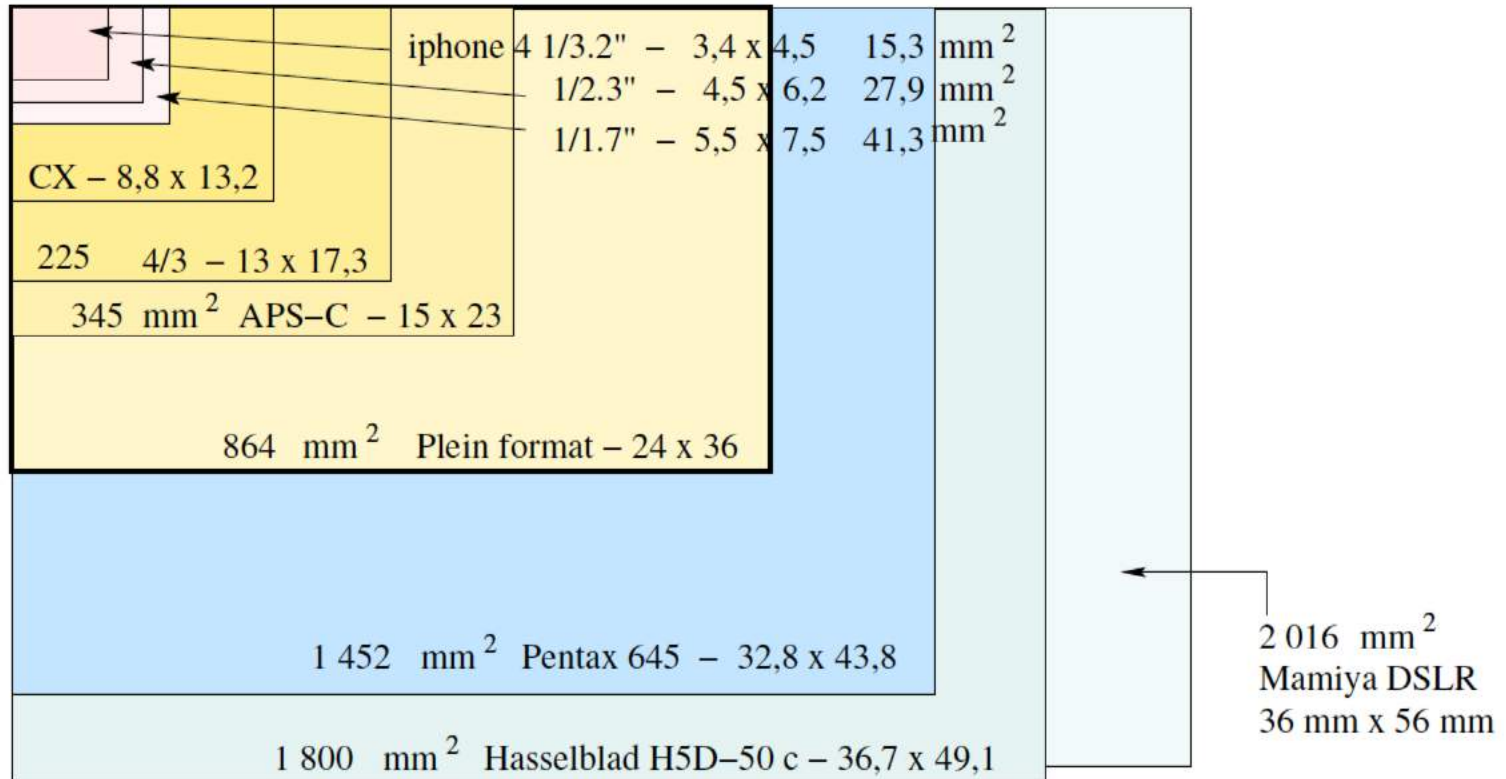
1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière

Le capteur photographique



Capteur moderne : 1—50 méga-photosites
(astronomie : 30 giga-photosites !)

Tailles de capteurs

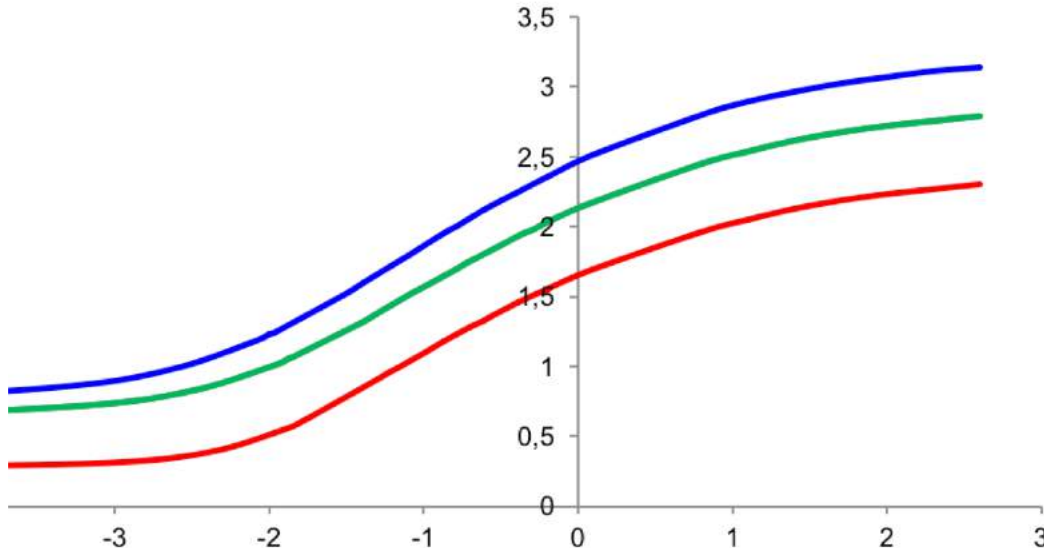


Surface : si $24 \times 36 = 1$,

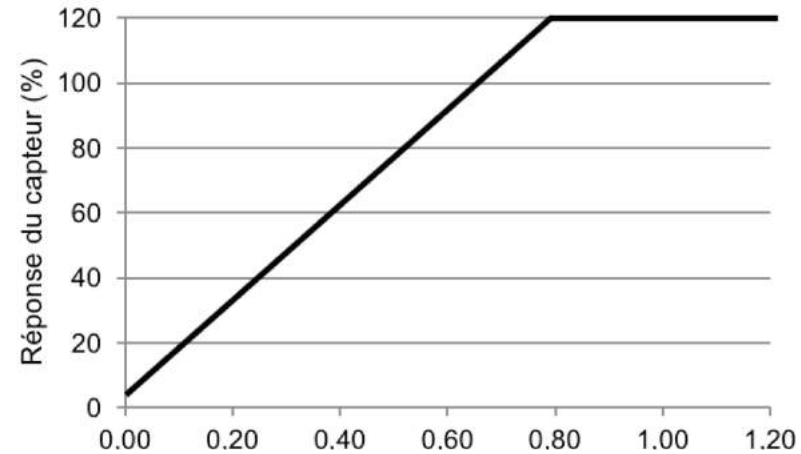
APS-C $\approx \frac{1}{2}$, Micro 4/3 $\approx \frac{1}{4}$

iPhone 7 = $\frac{18}{864} = \frac{1}{50}$

Courbes de réponse



film argentique



capteur numérique

Film = grande dynamique, faibles / fortes lumières douces, bruit
Capteur = linéaire, meilleure définition, beaucoup moins de bruit
mais saturation brutale

Les trois réglages de la lumière entrante

- Indice de lumination (IL ou EV) : doublement ou division par 2 de la lumière entrante
- **Ouverture** (\downarrow) : 1,4 \rightarrow 2 \rightarrow 2,8 \rightarrow 4 \rightarrow 5,6 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 16
 - impact croissant sur la profondeur de champ
- **Vitesse** (\downarrow) : ... \rightarrow 1/60 \rightarrow 1/125 \rightarrow 1/250 \rightarrow 1/500 \rightarrow ... \rightarrow 1/8 000
 - vitesse élevée nécessaire pour les sujets mobiles
- **Sensibilité** (ISO, \uparrow) 100 \rightarrow 200 \rightarrow 400 \rightarrow 800 \rightarrow 1600 \rightarrow 3200 \rightarrow ...
 - impact croissant sur le bruit
 - film argentique : composition du film (40-100-400-800)
 - capteur numérique : amplification analogique

Trouver la bonne combinaison
est fondamental pour une bonne photo

Un avantage décisif de la photo numérique

- Argentique : sensibilité définie **par le film**
 - noir et blanc : **50 → 800 ISO**
 - couleur : **50 → 400 ISO**
- Numérique : sensibilité définie **pour chaque image**
 - routine : **100 à 3200**, spécial **6400, 12800** ou plus

La sensibilité devient un paramètre comme les autres

On peut la mettre en **mode automatique**

Et, en basse lumière, **plus besoin de flash !**

Question : comment fait un téléphone pour produire de belles photos avec des photosites **des dizaines de fois plus petits** que ceux d'un appareil standard ?

Réponse : avec **d'excellents algorithmes** et un usage intensif de la **fusion d'images multiples...**
Utilisés aussi par les appareils modernes !

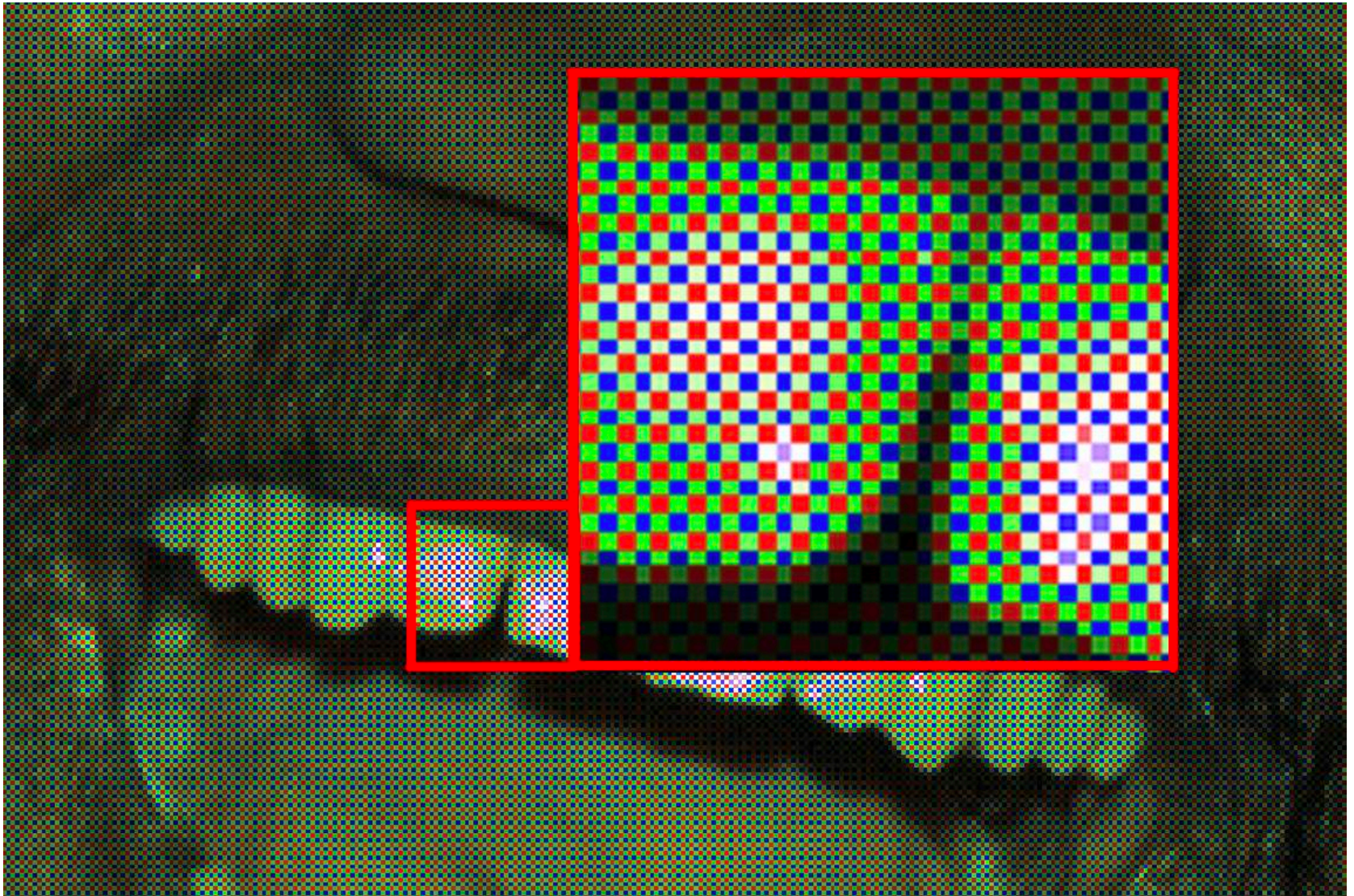
Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière
3. **Le développement numérique**

Etapes du développement algorithmique

- Dématriçage (dérawtisation)
- Lumière et contraste
- Balance des blancs
- Rendu des couleurs
- Netteté (micro-contraste)
- Réduction du bruit
- Suppression du vignettage et des distorsions
- Rétablissement de la perspective
- Et beaucoup d'améliorations par **fusion d'images**

L'image crue (raw)



Source G. Berry / DxO.com

Dématriçage (dérawtisation)

Image **crue**
RAW, NEF, ORF...

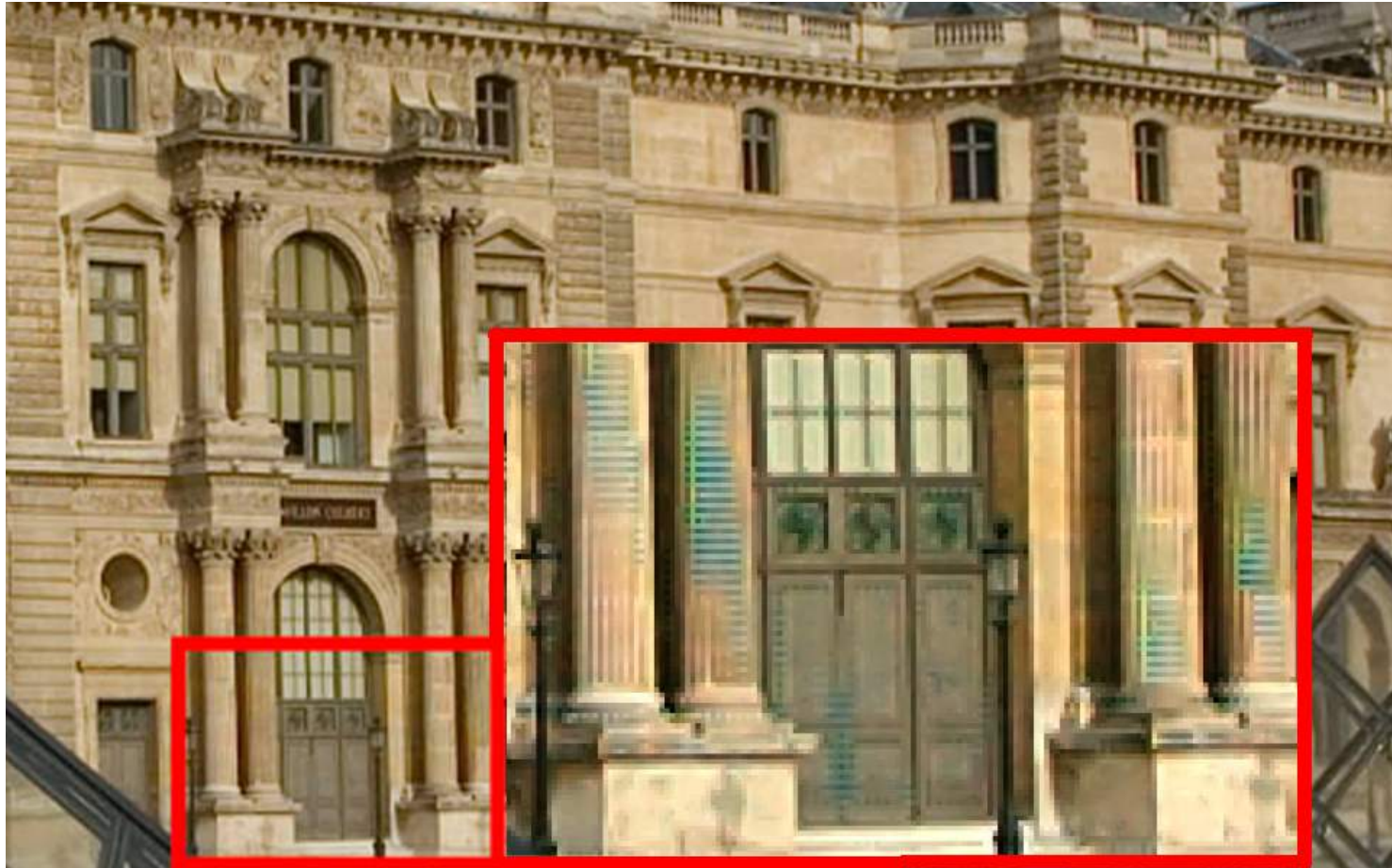
6287	3891	6027	3943	5840	3414
1812	6181	1941	5912	2027	5912
6412	4012	6300	4119	5917	2718
1845	6521	1914	5918	2718	5428

Image **cuite**
TIFF, JPEG, PNG...



Le dématricage, très délicat

Source DxO.com



Difficulté fondamentale : le moiré

autrefois : **filtre anti-aliasing**; maintenant : **algorithmes**

Lumière et contraste



Source G. Berry / DxO.com

Balance des blancs

Source G. Berry / DxO.com



Automatique = difficile, jpeg = trop tard \Rightarrow garder le raw !

Rendu des couleurs



Netteté – uniforme ou non ?



Correction locale du flou d'objectif



Source DxO.com

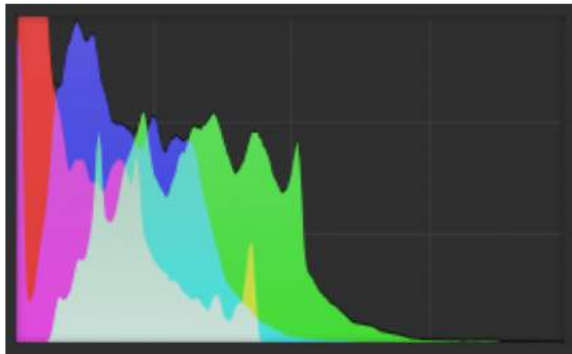
Netteté – en fonction de l'objectif



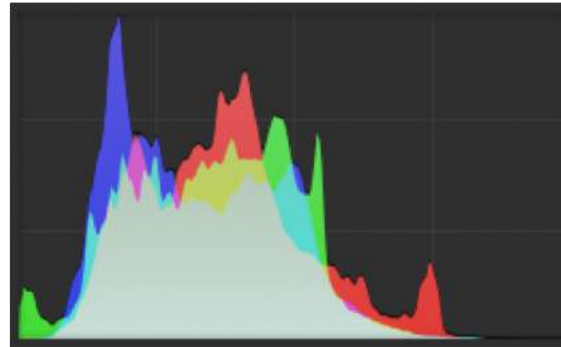
Amélioration de la lumière



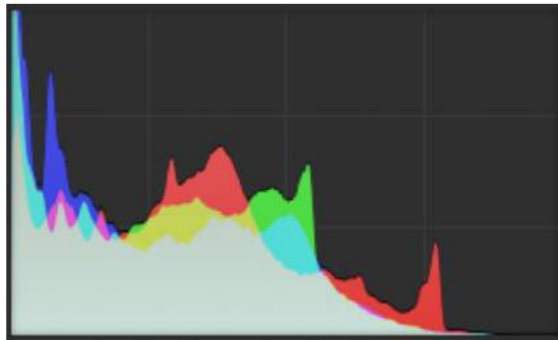
Evolution des histogrammes



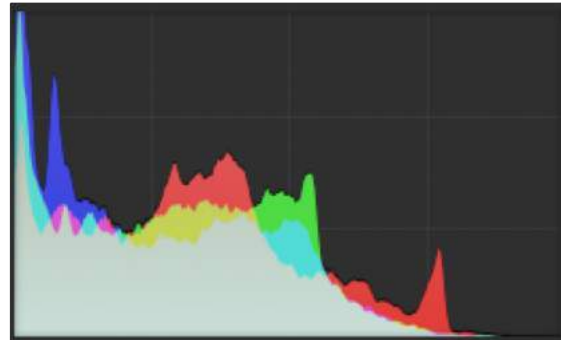
lumière / contraste



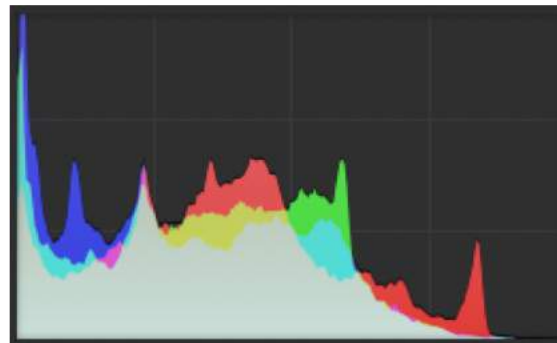
balance des blancs



rendu des couleurs

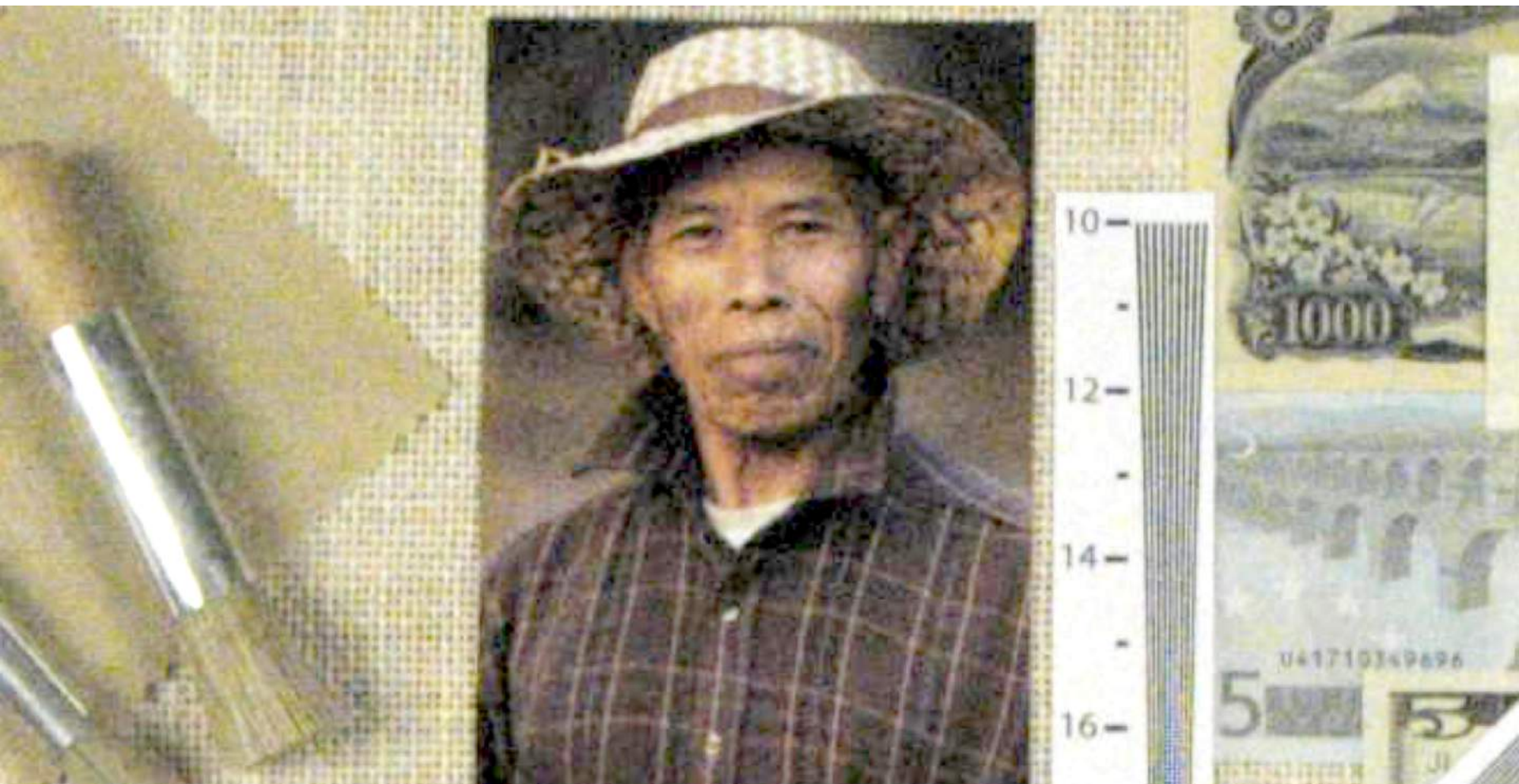


netteté



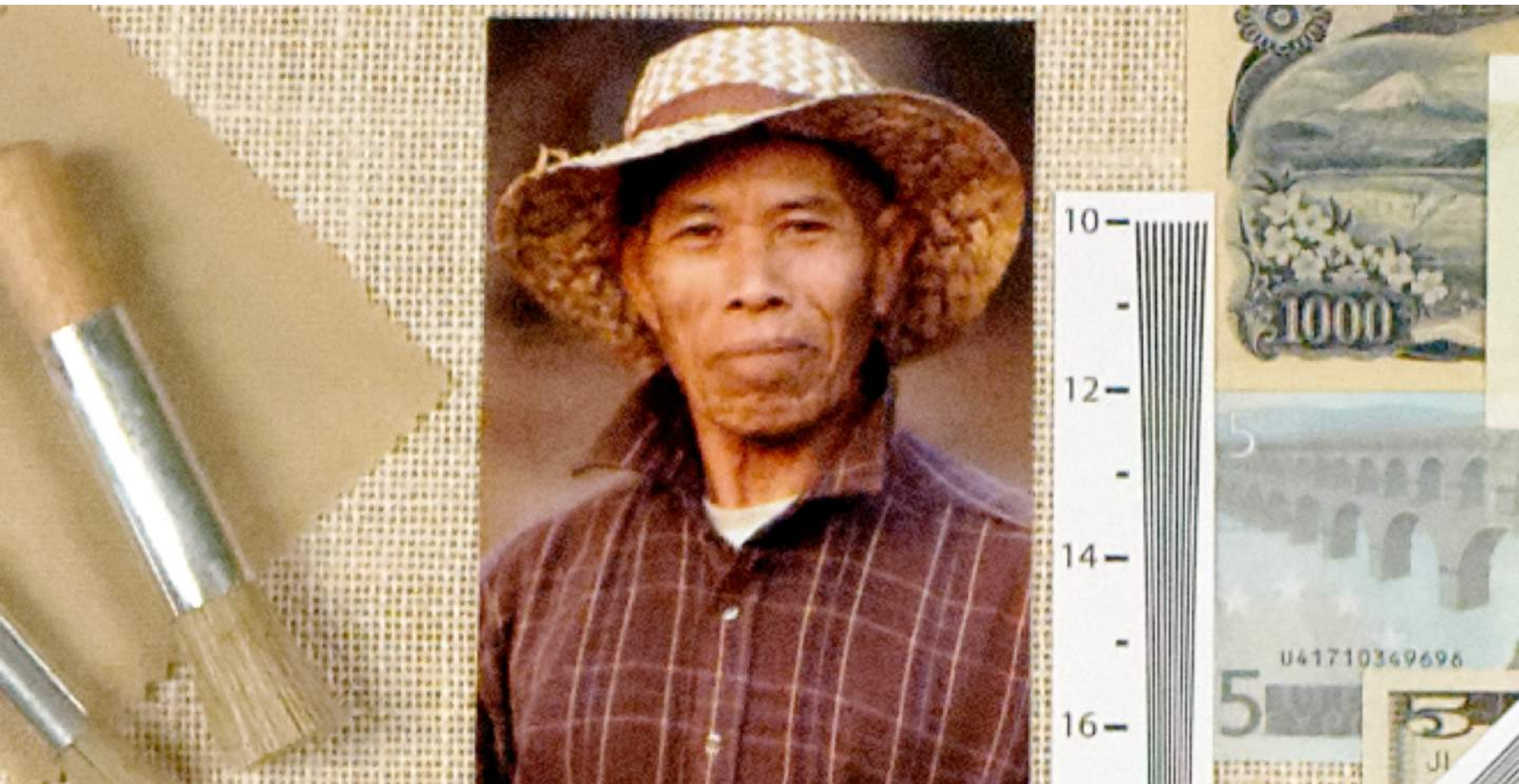
amélioration
de la lumière

Image (très) bruitée



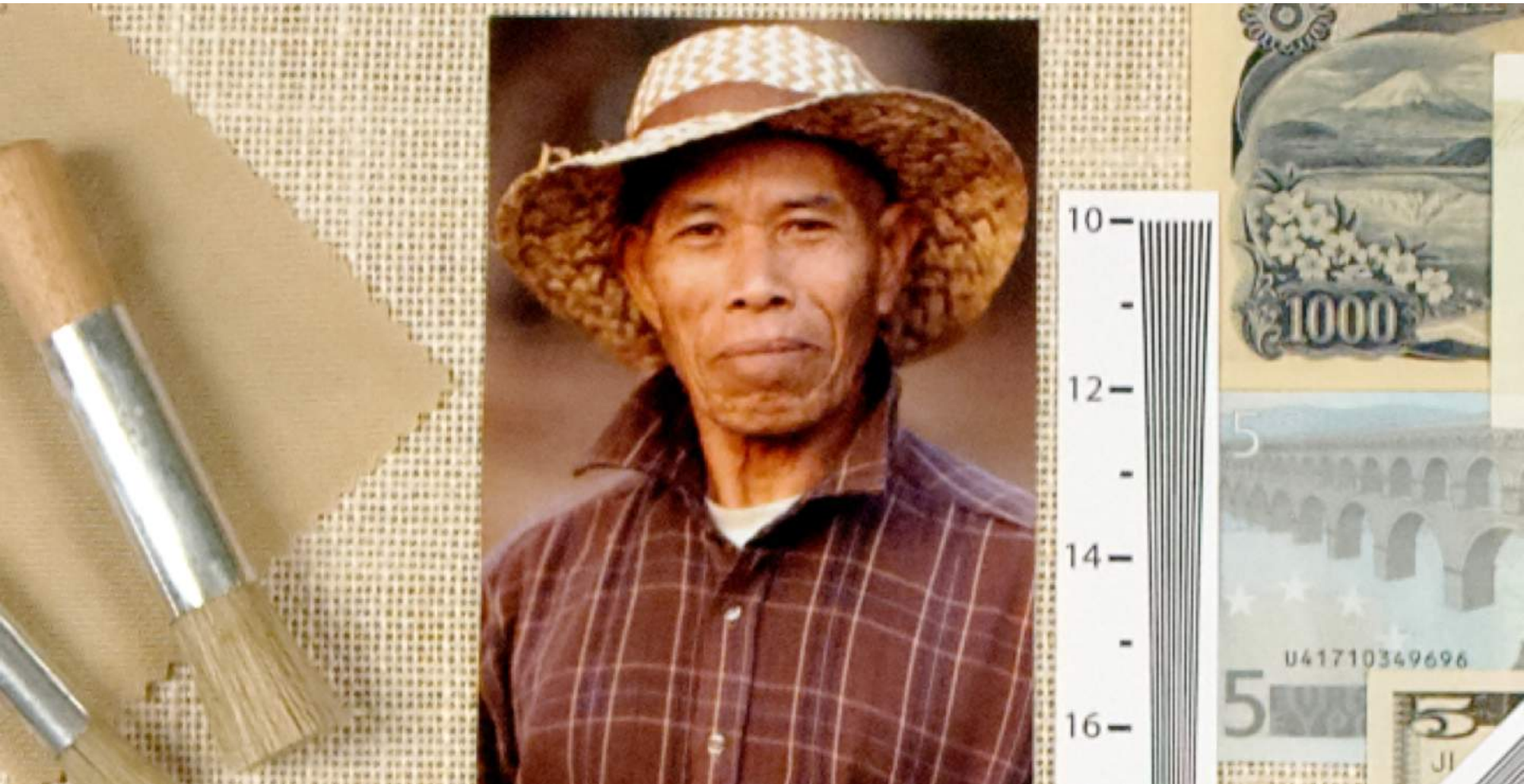
Source DxO.com

Réduction du bruit – une image



Source DxO.com

Réduction du bruit – fusion de 4 images



Source DxO.com

maintenant standard sur DxO One : *Super Raw*

Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière
3. Le développement numérique
4. **Autres corrections automatiques**

Aberrations chromatiques



Source DxO.com

Exemples : franges violettes

Vignettage + distorsions



Vignettage + distorsions : et hop !

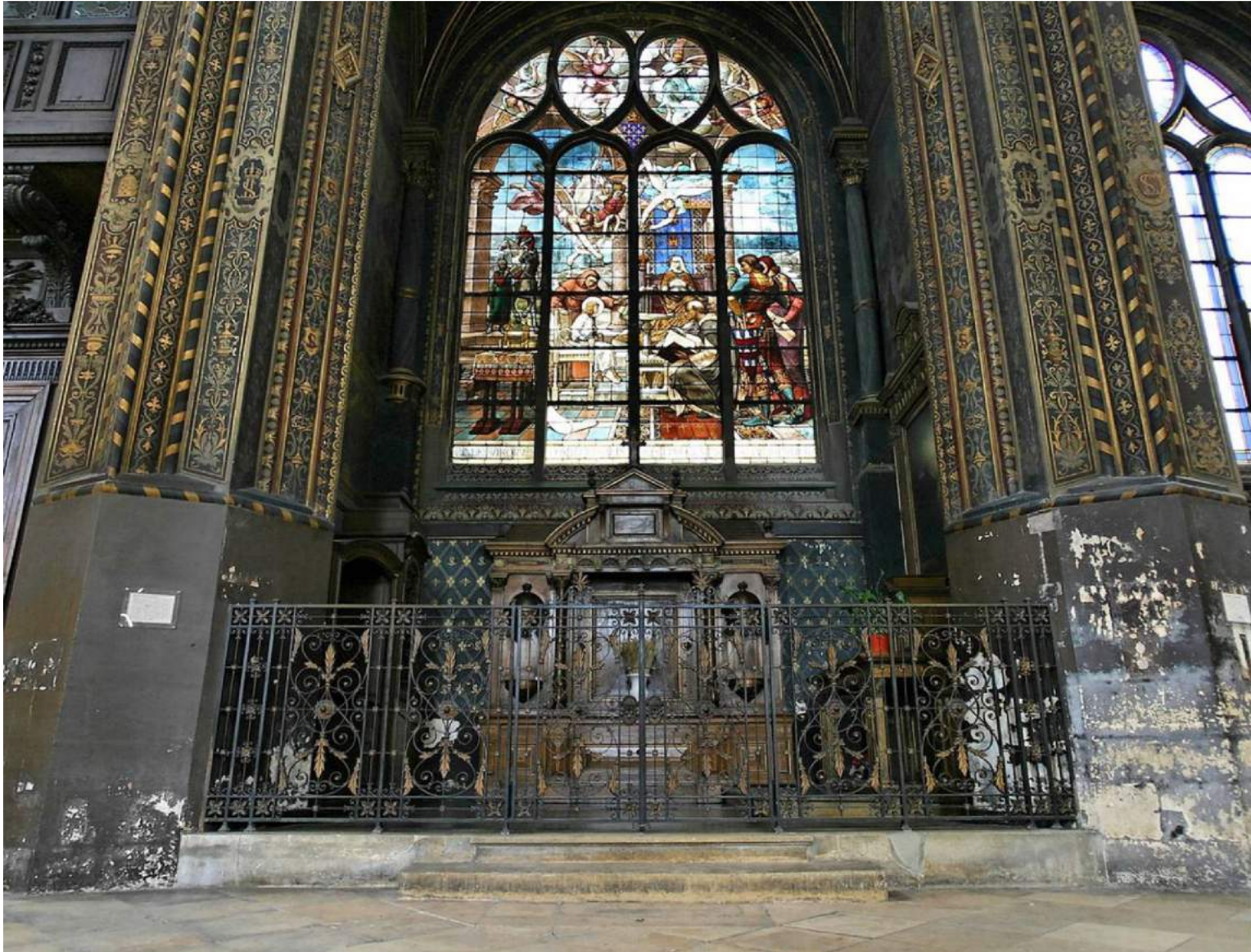


Distorsions + netteté + lumière



Source DxO.com

Distorsions + netteté + lumière



Source DxO.com

... Et pour un clic de plus, la perspective



Source DxO.com / DxO Optics Pro

contrôle manuel souvent préférable

Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière
3. Le développement numérique
4. Autres corrections automatiques
5. **Amélioration par fusion d'images**

HDR – High Dynamic Range



HDR – High Dynamic Range



©DxO Labs – Hugo Uyttersprot / CMN – Sainte Chapelle

Focus Stacking

image 1
m.a.p. avant



image 1
m.a.p. arrière



fusion
des 8 images



En standard dans de plus en plus d'appareils

Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière
3. Le développement numérique
4. Amélioration par fusion d'images
5. **La conception des nouveaux appareils**

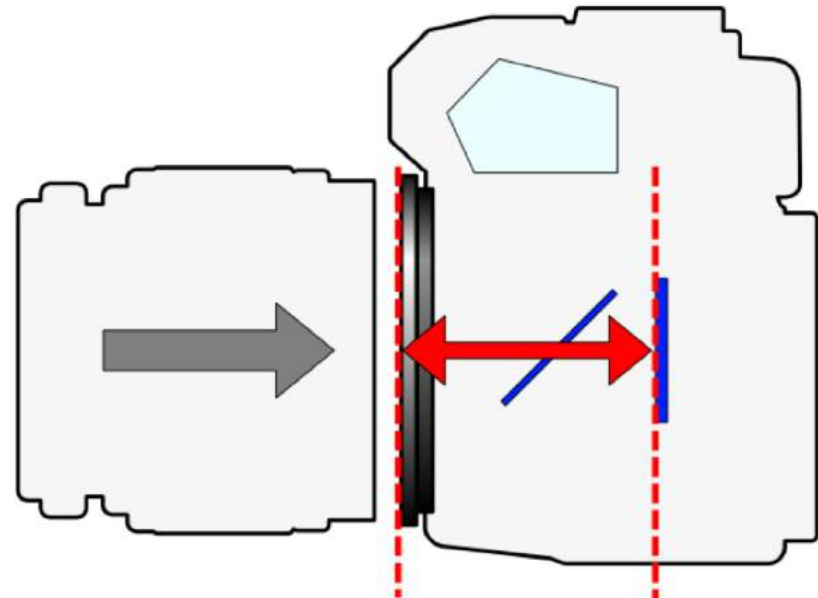
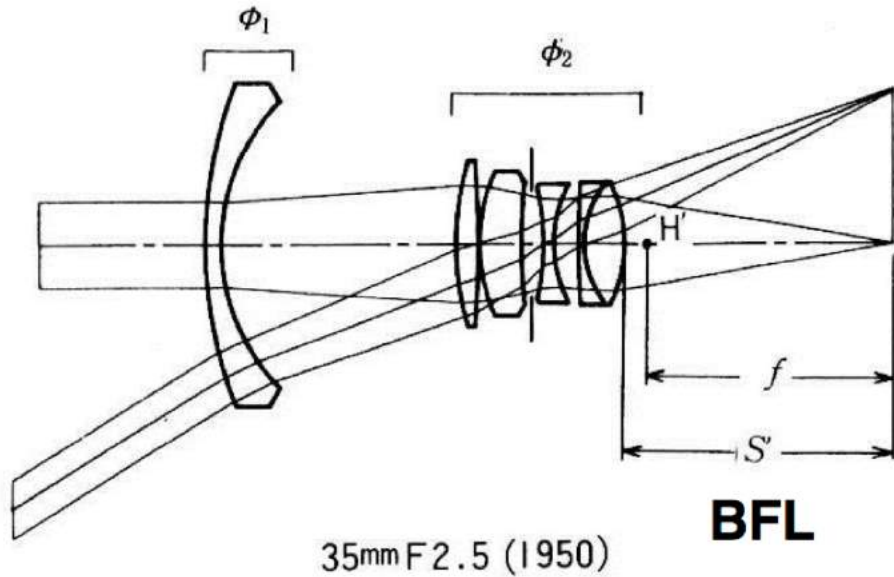
La nouvelle façon de faire

Si on sait caractériser les distorsions physiques,
alors on peut les **corriger algorithmiquement**

Si on sait fusionner des images, alors on peut
compenser certaines insuffisances de la physique

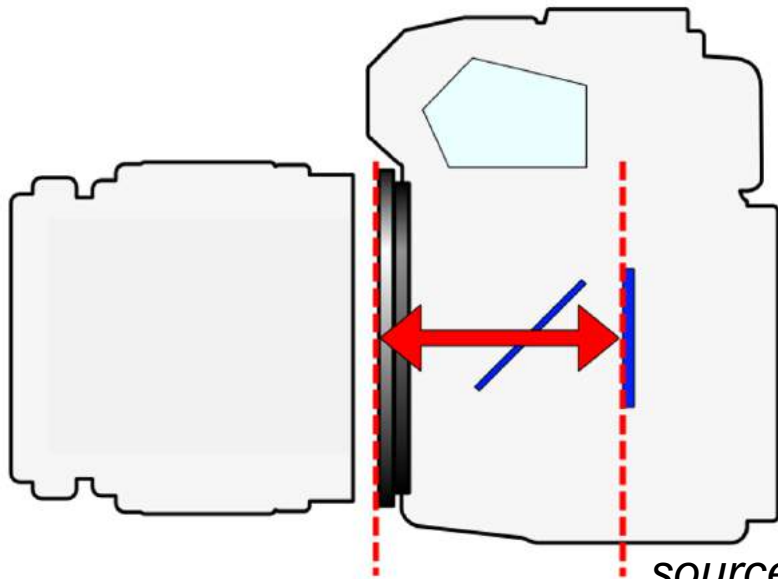
⇒ l'appareil et les algorithmes doivent être conçus
de façon conjointe

Le reflex à miroir (24x36, APS-C)



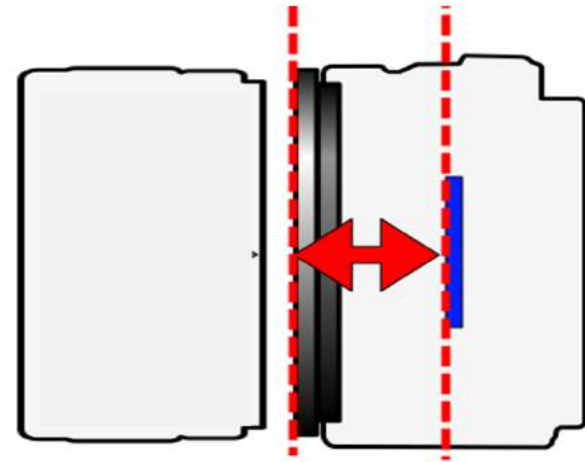
Le standard de l'argentique, devenu numérique vers 2000, très bon en 2010, superlatif en 2017

Suppression du miroir



source dxo.com

reflex avec miroir



sans miroir

Rendu possible par la visée électronique
(écran arrière ou viseur hauteur d'œil)
beaucoup plus simple et léger

Objectif collé au capteur (airless design)



Classique : Sony Rx iii, 1"

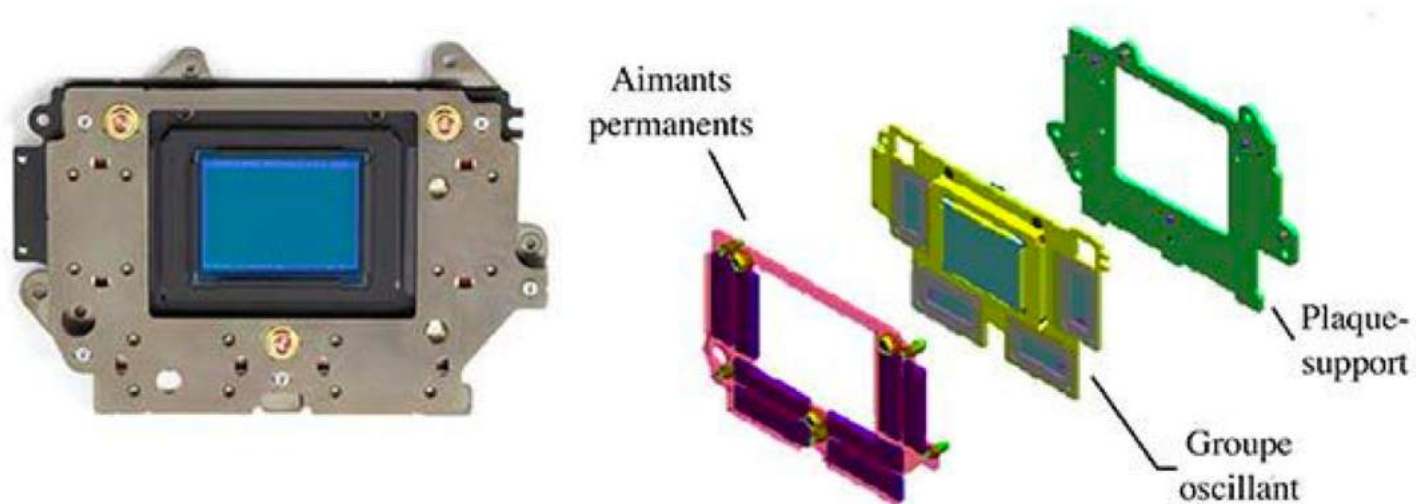


Airless : DxO One, 1"

Même capteur, même ouverture, même sensibilité
Objectif optimal à ouverture maximale
Technologie née dans les téléphones

Stabiliser les capteurs et objectifs

- Compenser le tremblement du photographe
 - détection : accéléromètres / gyromètres
 - calcul : microprocesseur / logiciel
 - action : mouvements du capteur ou de lentilles d'objectif
 - peut gagner 5EV, mais inefficace sur les sujets mobiles



Capteur Pentax (Olympus → 5 axes)

Bonus du capteur stabilisé : pixel shift

- Idée : utiliser le moteur de stabilisation du capteur pour augmenter la résolution
- En pratique : décaler successivement le capteur de fractions de pixel, puis fusionner les images
 - introduction : [Hasselblad 2011](#), puis [Ricoh / Pentax K1](#)
 - exemple : [Olympus OMD-EM1 MkII](#) : 20 → 50/80 Mpx

Limitations : sur pied, pas de vent si paysage, obturateur électronique pour supprimer les vibrations

Choisir son capteur : grand ($FF=24 \times 36$, ou plus)

- Visée +++ (reflex), ++ (électronique)
- Qualité d'image +++
- Uniformité d'image +
- Profondeur de champ / bokeh +++
- Ergonomie : +++
- Poids et prix du boîtier et des objectifs –
- Lentilles et capteurs lourds \Rightarrow stabilisation difficile

Le choix préféré des professionnels
(accrochés à la tradition ?)

Choisir son capteur : moyen (APS-C, $\mu 4/3$)

- Visée ++ (si reflex optique ou électronique)
- Qualité d'image ++/+++
- Uniformité d'image : ++
- Profondeur de champ / bokeh ++
- Ergonomie : +++
- Poids et prix du boîtier et des objectifs +
- Capteurs et objectifs légers : **stabilisation +++** (5 EV !)

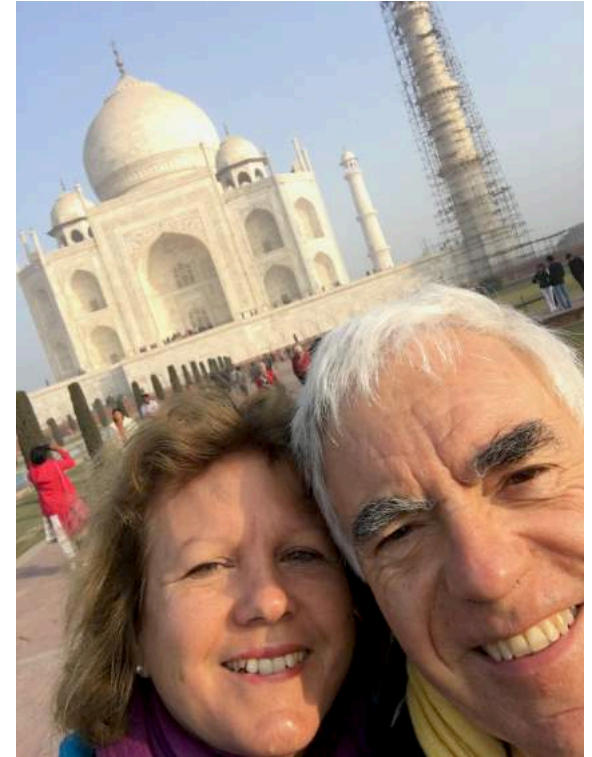
Excellent choix pour les amateurs éclairés
La différence avec le 24x36 ne se voit que
sur les très grands tirages

Choisir son capteur : Minus (téléphone)

- Visée : bof (écran ou téléphone)
- Qualité d'image + → ++
- Uniformité d'image + → ++
- Profondeur de champ / bokeh - → +(par logiciel ?)
- Ergonomie bof
- Poids et prix du boîtier et des objectifs ++
- Stabilisation : peu fréquente (mais grand-angle)

De toutes façons, on en a déjà un dans son téléphone, avec des images meilleures que les anciens compacts

... et bien sûr parfaits pour les selfies !



Photos G. Berry, Athènes / Santorin 2015, Selfie New Delhi 2017

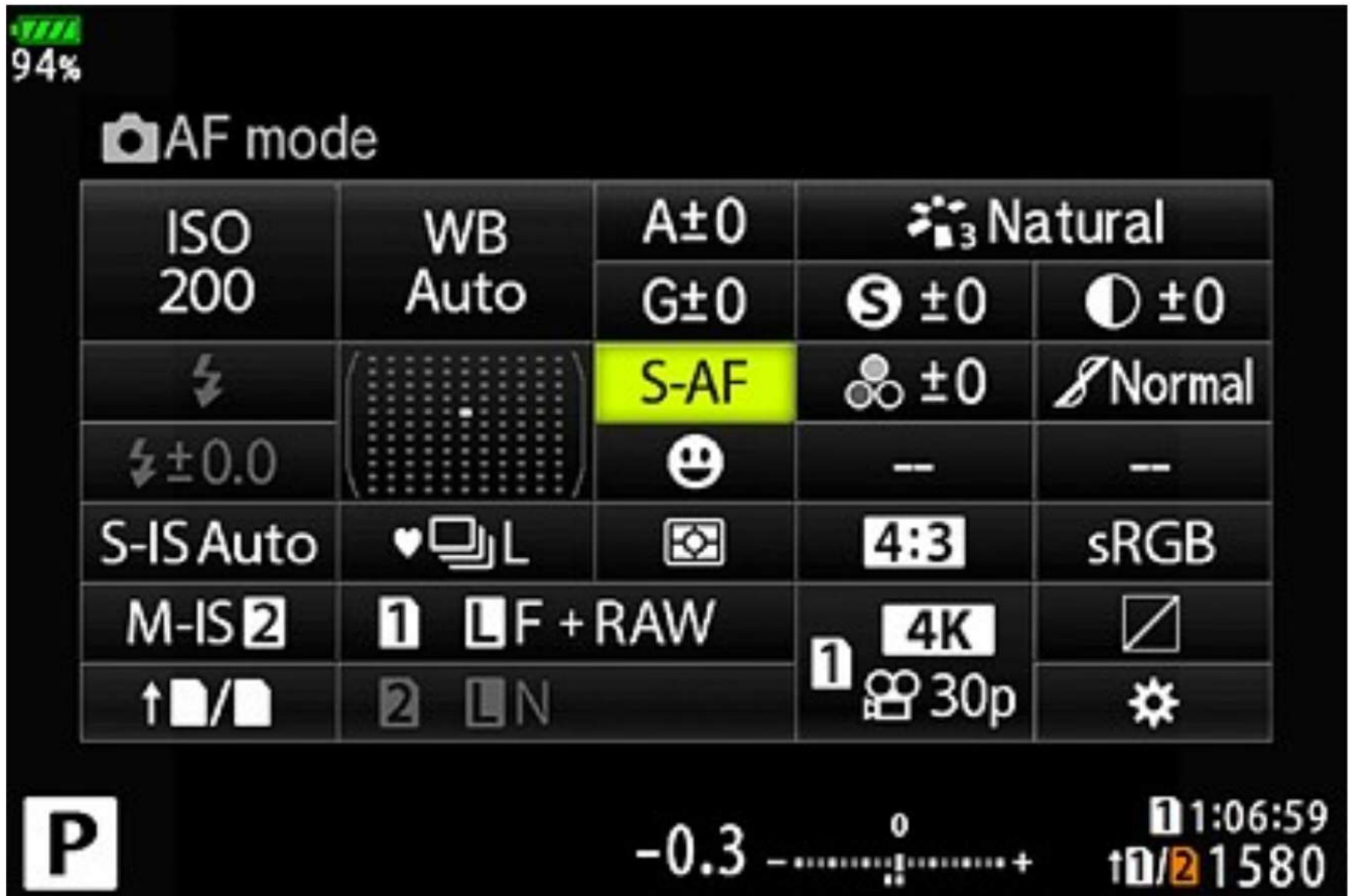
Agenda

1. Comment voyons-nous le monde ?
2. La capture de la lumière
3. Le développement numérique
4. Amélioration par fusion d'images
5. La conception des nouveaux appareils
6. L'ergonomie, essentielle pour le photographe

Ergonomie de la prise de vue

- Algorithmes → outils précieux pour le photographe, inaccessibles à la physique seule
 - écran tactile, viseur électronique ou optique augmenté
 - gadgets précieux : niveaux, perspectives, impression, wifi,...
 - calcul fin et correction facile de l'exposition, histogramme, coloration des zones mal exposées
 - mise au point et suivi automatique + *focus-peaking*, accrochages de visages, etc.
 - HDR et *focus stacking* automatique
 - panneau de contrôle global, personnalisation des commandes
 - ... (la liste s'allonge tous les ans)

Panneau de contrôle



Focus Peaking



Source phototrend.fr

Très rapide, encore mieux dans le viseur

Possibilités récentes des sans-miroirs

- Appareils beaucoup plus compacts
- Viseur augmenté
- Vue parfaite en basse lumière
- Test de profondeur de champ sans assombrissement
- Obturateur électronique totalement silencieux et sans aucune vibration
 - mais attention aux sujets mobiles, fortement déformés !
- Rafale ultra-rapide (Olympus / Panasonic 60 raw / s)

Mais certains préfèrent le viseur optique, *no problem* !

Retouche, classement, impression

- Logiciels de développement et retouche
 - DxO Photolab, Adobe Lightroom, PhaseOne Capture One, DarkTable, Digikam, etc.
- Logiciels d'édition avancée : Photoshop, GIMP
- Logiciels de visualisation et de classement
 - importance des Metadata EXIF (heure, lieu, annotations,...)
- Mise en réseau immédiate (milliards d'images / jour)
 - sites amateurs ou professionnels
 - Mais qui sait qui en fait quoi ?
- Impression jet d'encre
 - qualité et durabilité devenant exceptionnelles
 - mais il faudrait un autre exposé sur les algos d'impression !

L'avenir ne ressemblera pas au passé !

- Téléphone : faible épaisseur → multi-capteurs
→ matrice de capteurs
→ imagerie 3D, etc
- Multi-images → LiveView, entre photo et vidéo
→ choix des zones nettes pour fusion
→ choix des sourires
- Amélioration automatique → lumière, contraste, couleur
→ analyse de scènes
→ *deep learning*

Conclusion : un changement massif en 20 ans

- **Fusion physique / informatique**, grande puissance de calcul, algorithmes performants, logiciels fiables
- **Qualité technique** très supérieure à celle de l'argentique (ne concerne pas forcément les artistes)
- Grande **diversification des appareils**
- Prise et diffusion **plus faciles et moins coûteuses**

La photo est magique parce qu'elle abolit le temps en montre l'immobilité des choses et gens mobiles

Mais un bon appareil ne fait pas un bon photographe
(je ne sais pas parler de la vidéo)

Remerciements et références

- Merci à Frédéric Guichard, Directeur scientifique de DxO Labs, qui m'a tout appris dès 2008 :
 - <http://www.college-de-france.fr/site/gerard-berry/seminar-2008-03-21-11h10.htm> (repris ici)
- Merci à Henri Maître, qui a fait un séminaire sur la photo (assez différent) dans mon cours de nov. 2014 à Lyon :
 - Lire son livre « Du photon au pixel » ,
<https://iste-editions.fr/products/du-photon-au-pixel-1>
- Voir également le colloque Académie des sciences – Académie des Beaux Arts sur la photographie
 - <http://www.academie-sciences.fr/fr/Seances-publiques/la-photographie.html>
 - [*Le développement photographique et la chimie de l'argentique*](#) vidéo de Jacqueline Belloni (CNRS)

Pour chaque selfie, que d'algorithmes !



Photos G. Berry, Athènes 2015

Mais comment fait un téléphone ?

- Air-less design
- Circuits rapides (certains dédiés)
- Prises de vue multiples
- Maintenant objectifs multiples
- Algorithmes nombreux et sophistiqué
 - développement
 - anti-bruit
 - traitement de la lumière
 - traitement des distorsions
 - analyse de l'image, reconnaissance
 - traitement des visages, etc.
 - flou d'arrière-plan algorithmique