

# Comment ça marche : le bruit d'image

**Inutile de tendre l'oreille : quand on parle de bruit en photo ou vidéo numérique, il s'agit de défauts parasites venant dégrader la qualité de l'image, un peu comme le grain en photo argentique. La correction de ce phénomène complexe est un enjeu majeur pour les fabricants d'appareils photo. Voici quelques explications pour mieux comprendre d'où vient ce bruit, inaudible mais bien visible.**

*Julien Bolle , Micro Photo Vidéo, le 06/07/2005*

Le terme de « *bruit* », emprunté au domaine de l'acoustique, peut en fait s'appliquer à n'importe quel système électronique délivrant un signal. Sur une chaîne hi-fi, vous avez sûrement remarqué le souffle que l'on entend dans les enceintes si l'on monte le volume alors qu'aucune musique n'est jouée. Pour obtenir une qualité d'écoute acceptable, ce bruit de fond doit être assez discret pour ne pas être discerné quand la musique passe. Si son niveau reste assez faible, il se « *fondra* » dans le signal mais, s'il est trop important, ce bruit non désiré se superposera à la musique, à plus forte raison si l'enregistrement présente un faible volume sonore. Lors des passages musicaux plus soutenus, le bruit sera toujours là mais, couvert par la musique, on ne l'entendra plus.

C'est exactement la même chose sur une photographie. Un système d'enregistrement d'image comme un appareil photo ne restitue pas l'image de manière parfaite : des informations parasites apparaissent et viennent s'ajouter de manière aléatoire aux détails de la scène d'origine. La plupart du temps, cet effet est gênant et doit être corrigé. Sur un film argentique, cette perturbation peut prendre la forme soit d'une granulation colorée provoquée par les grains d'argent ou de colorants (le fameux « *grain* » photo, parfois apprécié), soit d'un voile uniforme venant diminuer le contraste de l'image.

En photo et vidéo numérique, le bruit n'a pas les mêmes origines, mais provoque des effets assez semblables : perte de netteté sur les détails, grain et autres dominantes colorées sont des symptômes bien connus des photographes d'aujourd'hui.

Et, comme en acoustique, ce bruit est d'autant plus présent que l'intensité du signal baisse : il se distingue mieux sur les zones sombres ou les plages homogènes comme un ciel bleu que sur les valeurs très claires ou les détails complexes. C'est pour cette raison que l'on mesure l'effet du bruit, qu'il soit visuel ou auditif, par le rapport signal/bruit. Quand cette valeur augmente, cela signifie que la proportion du signal parasite dans le signal d'origine diminue, le bruit « *pollue* » donc moins notre perception de l'information, quelle que soit son intensité. Pour parvenir à un bon résultat, il faut donc soit augmenter le signal, soit baisser le bruit.

## D'où vient ce bruit ?

Le bruit que l'on peut voir sur une photo résulte de trois principales composantes, causées lors d'étapes successives de la formation de l'image. Pour comprendre leur origine, penchons-nous sur la « *chaîne de fabrication* » d'une photo. L'image formée par l'objectif est projetée sur le capteur de l'appareil, dont le rôle est de transformer l'intensité lumineuse en signal électrique, converti ensuite en image numérique par le processeur.

Le capteur est constitué par un alignement de photosites, véritables « *puits à lumière* » qui emmagasinent l'énergie lumineuse sous forme de photons qui sont convertis en électrons lors de l'exposition. Les photosites recevant le plus de lumière (parties blanches de l'image) sont donc remplis d'électrons, tandis que ceux qui n'en reçoivent pas (parties noires de l'image) sont théoriquement vides (*voir schéma ci-après*) . Mais certains électrons ne provenant pas de l'exposition sont formés ici de manière aléatoire, et viennent se confondre avec les « *bons* » électrons au sein du signal créé par l'appareil. Ce phénomène se manifeste même lorsque le capteur n'est pas exposé, c'est pour cela qu'on le nomme « *courant d'obscurité* » . Son niveau moyen ne dépend pas de l'intensité du signal : lors de l'exposition, il reste constant. Il est donc plus visible sur les zones sombres, où le rapport signal/bruit est à son minimum. Sur l'image, cela se traduit par des pixels colorés ou non, mais dans l'ensemble plus clairs, ce qui augmente au final la luminosité de l'image.

Cette première composante du bruit est due à l'agitation thermique naturelle des électrons, qui « *sautent* » d'un puits à l'autre. On peut donc limiter cet effet en refroidissant le système : c'est la solution retenue sur les appareils de studio professionnels, maintenus à température ambiante par un ventilateur. Certains équipements d'astronomie sont même refroidis à -60 °C grâce à de l'azote liquide. Sur les appareils photo grand public, un système plus simple permet de limiter sensiblement ce bruit « *de fond* » : tout d'abord, un filtre placé sur le capteur empêche les rayons lumineux infrarouges d'atteindre celui-ci et de créer des électrons parasites. De plus, les bords du capteur sont composés de pixels de calibrage qui ne sont jamais exposés à la lumière. Ceux-ci permettent de mesurer le niveau moyen du courant d'obscurité, que le processeur soustrait ensuite à l'image pour lui ôter ce voile de « *fausse lumière* » et retrouver des noirs plus purs. Mais les irrégularités aléatoires de ce phénomène empêcheront toujours une correction parfaite.

## Un bruit qui court

Le deuxième type de bruit est provoqué par une réponse non homogène du capteur : sa structure physique fait que certains photosites sont plus sensibles à la lumière que d'autres, et créent un signal plus fort à partir de la même exposition. Sur l'image, on obtiendra des pixels « *chauds* » au même endroit sur toutes les photos, créant une sorte d'image fantôme.

Ce « *bruit structurel permanent* » reste en effet identique à chaque exposition. Il est donc plus facile à corriger que le bruit de fond aléatoire. Ceci concerne particulièrement les capteurs de type CMOS (que l'on trouve sur les photophones et les reflex Canon), générant une très forte irrégularité de par leur structure. À chaque prise de vue, l'appareil fait simultanément une lecture du capteur au noir pour mesurer l'effet du bruit, qui est soustrait à la capture effective. C'est le même principe qui est adopté lors des photos en poses longues (plus d'une seconde en général) : le système de réduction du bruit proposé sur les appareils experts consiste à effectuer une seconde capture avec l'obturateur fermé après la prise de vue, pour « *nettoyer* » ensuite le signal par comparaison.

Enfin, une grande partie du bruit n'est pas créée par le capteur, mais par les composants électroniques qui exploitent le signal issu de celui-ci avant qu'il soit numérisé. C'est pour cette raison qu'on l'appelle le bruit de lecture. Il résulte en fait de l'amplification du bruit du capteur (bruit d'obscurité et structurel) et du propre bruit apporté par ces composants. Celui-ci est d'autant plus important que le signal est amplifié.

## Sensibilité... et sensibilité

Ce dernier point permet de comprendre pourquoi le bruit monte avec la sensibilité réglée sur les appareils. Il faut savoir qu'en réalité un capteur, tout comme un film argentique, ne

possède qu'une seule sensibilité, qui dépend de la capacité de ses photosites à capturer les photons lumineux. C'est en général la plus petite valeur de sensibilité disponible sur l'appareil (50 ou 100 ISO, en principe). Lorsque l'on augmente cette valeur, l'appareil modifie en fait l'amplification du signal issu du capteur (*voir schéma ci-après*) .

Les habitués de l'argentique connaissent bien la technique qui consiste à « *pousser* » un film, permettant de l'utiliser à une sensibilité plus élevée que sa valeur réelle : il suffit pour cela de le sous-exposer puis de prolonger son développement pour « *rattraper* » la bonne exposition. C'est exactement le même principe en numérique : en montant artificiellement la sensibilité, on ne fait que « *pousser* » le signal fourni par le capteur, au détriment de la qualité d'image, puisque le bruit aussi est amplifié.

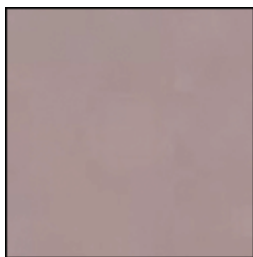
## Inégaux devant le bruit

Au-delà des problèmes liés aux réglages de sensibilité, il est clair que certains appareils sont plus doués que d'autres en matière de correction du bruit. Si, comme nous l'avons vu, ils sont tous « *armés* » pour limiter en grande partie les dégâts, certains contrôlent moins bien les différentes étapes de formation du bruit. Les petits capteurs équipant les compacts, peu coûteux à fabriquer, sont par exemple bien connus pour générer beaucoup de bruit : la surface de leurs puits étant limitée, surtout quand leur définition augmente, ils n'emmagasinent qu'un nombre restreint d'électrons. Leur sensibilité est ainsi plus faible que celle des capteurs de reflex dont les puits sont plus grands. Le signal, donc le rapport signal/bruit, est déjà limité à la base. Ce signal doit ensuite être davantage amplifié pour former l'image, ce qui ne fait qu'aggraver le phénomène. On a donc des capteurs qui provoquent plus de bruit au départ, et celui-ci subit une amplification plus importante que sur les « *bons* » capteurs. Un peu comme si vous écoutiez une vieille bande audio avec le volume poussé à fond. Obtenir une image correcte relève donc souvent de la pirouette technique, et les fabricants mènent une recherche très active sur ce terrain.

Une des solutions consiste à améliorer la sensibilité du capteur par l'ajout de microlentilles pour focaliser les photons sur chaque photosite. Mais les progrès les plus marqués concernent l'amélioration des circuits de traitement d'image et surtout des algorithmes de calcul des processeurs, dont la finesse est souvent décisive pour séparer le « *bon grain de l'ivraie* » et rendre l'image visuellement acceptable. C'est ainsi que l'on peut voir apparaître aujourd'hui des appareils compacts affichant des sensibilités réglables à 1600 ISO, là où les autres osent à peine atteindre les 400 ISO. Quand la « *chirurgie* » informatique vient au secours de la photo...

### Nos mesures au labo

Lors de nos tests d'appareils, nous portons une attention toute particulière à l'évaluation du bruit présent sur les clichés. Pour obtenir une mesure fiable, nous photographions des plages de gris uniformes sur une mire éclairée sous plusieurs intensités lumineuses, et la procédure est répétée à différentes sensibilités. On distingue ainsi le bruit créé par l'amplification de celui dû aux poses longues. Pour chaque image obtenue, une application « *maison* » se charge de mesurer les écarts de chaque pixel d'une zone à la moyenne de référence, aussi bien en termes de couleurs que de luminosité (espace L\*ab). Plus les déviations sont importantes, moins la note est bonne.



Sur cette zone de gris, le bruit reste correct : les pixels sont presque tous identiques.



Sur ce second exemple, les variations de couleur et de luminosité sont plus importantes.

### **Limiter et corriger le bruit**

Après avoir lu ce dossier, vous devinerez comment limiter le bruit sur vos photos : tout d'abord en utilisant un appareil présentant de bonnes performances en ce domaine, mais pas seulement. Rester si possible à la sensibilité minimum (50 ou 100 ISO) est la première condition pour contourner le problème de manière efficace. Pour un résultat optimal, évitez également d'enregistrer vos images au format Jpeg avec une compression trop élevée : les défauts engendrés se cumulent au bruit et font ressortir celui-ci. Travaillez au format Raw si vous le pouvez. Lors de la retouche sur ordinateur, attention aux manipulations trop brutales de luminosité, contraste et saturation : elles peuvent faire monter le bruit de manière significative.

Si, malgré ces précautions, le niveau de bruit est trop important, quelques interventions simples pourront arranger les choses : sur les plages uniformes constellées de pixels colorés, les commandes de saturation ou, mieux, de remplacement de couleur peuvent vous être d'un grand secours afin de maquiller ces défauts.

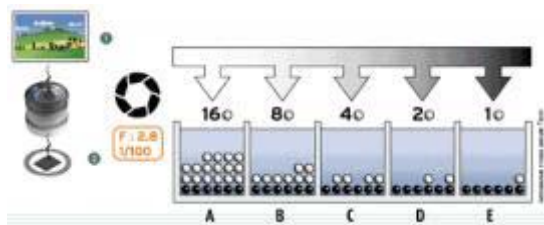
# Comment le bruit augmente avec la « sensibilité »

**1 - Prenons l'exemple** d'une scène photographiée : elle est composée de parties plus ou moins lumineuses, symbolisées par ce dégradé. L'exposition générale est déterminée par le temps de pose (ici 1/100 s) et l'ouverture du diaphragme (F: 2,8).

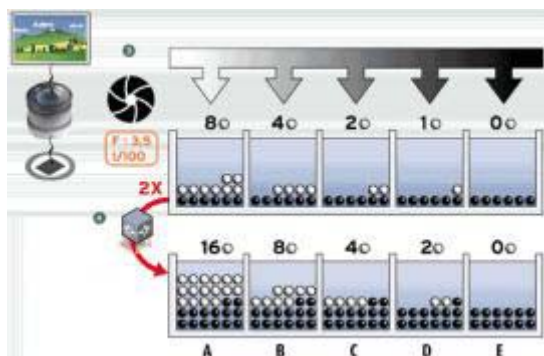
**2 - Sur le capteur**, le nombre d'électrons formés dans chaque photosite est proportionnel à la lumière reçue, comme sur cette ligne de photosites. Par exemple, le photosite D contient deux électrons provenant de l'exposition (électrons blancs). Mais, quelle que soit son exposition, chaque photosite contient un niveau moyen de bruit d'obscurité (électrons noirs) qui « tapisse » le fond. Cette première image ayant été prise à la sensibilité réelle de l'appareil (100 ISO), nous considérons donc qu'elle ne nécessite pas d'amplification, même si, en réalité, toutes les images sont « amplifiées » .

**3 - On prend la même scène** en photo, mais en réglant cette fois-ci la sensibilité à 200 ISO : l'appareil sous-expose alors le capteur, qui reçoit deux fois moins de lumière (dans notre exemple, le diaphragme est fermé d'un cran à F: 3,5). Le photosite D ne contient plus qu'un seul électron.

**4 - Pour retrouver une image** bien exposée, les circuits de l'appareil effectuent une amplification du signal. Ici, tous les électrons sont multipliés par deux, pour récupérer la même quantité d'information. Mais l'appareil ne distingue pas les « bons » électrons des « mauvais » et double donc également le bruit de fond, auquel s'ajoute le bruit de lecture. Le signal d'origine est alors noyé dans le bruit, et l'image sera plus difficile à lire.



**100 ISO** : l'image est exposée normalement et ne nécessite pas d'amplification



**200 ISO** : l'image est sous-exposée et doit être amplifiée par les circuits de l'appareil

# Quand monte le grain...

La comparaison du bruit selon le type d'appareil, compact ou reflex, est sans appel.

## Compact 100 ISO



Si cette image prise avec un compact d'entrée de gamme réglé sur 100 ISO en JPeg haute qualité est de bonne facture dans son ensemble, un agrandissement révèle la présence de bruit dans les détails. Rien d'étonnant puisque le capteur de l'appareil mesure à peine 9 mm de diagonale et reçoit donc peu de lumière.

## Compact 400 ISO



Quand on passe à 400 ISO, rien ne va plus : l'image est fortement altérée par la montée du bruit, due à la sous-exposition du capteur suivie d'une forte amplification. En plus des pixels colorés, on note une baisse du contraste de l'image.

## Reflex 100 ISO



Passons maintenant à un reflex « *grand public* » de 8 millions de pixels. À 100 ISO, le bruit est indécélable, même en zoomant sur l'image. Normal, le capteur fait 28 mm de diagonale, soit une surface sensible plus de huit fois supérieure à celle du capteur du compact

## Reflex 400 ISO



Grâce à la qualité de son capteur et à ses algorithmes de traitement plus évolués, cet appareil présente une excellente qualité d'image à 400 ISO, où le bruit n'est visible qu'en agrandissant fortement l'image. L'image est cependant meilleure que sur le compact à 100 ISO.