

Imagerie du vivant avec des caméras CMOS : domaine d'application et développements récents

Timothée Brugière¹

¹ Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Université de Strasbourg, CNRS/IN2P3,
UMR7178, 23 rue de Loess 67037 Strasbourg, FRANCE
timothee.brugiere@iphc.cnrs.fr

Les caméras scientifiques sensibles à de très faibles flux lumineux bénéficient aujourd'hui de nouveaux design permettant de réduire leur bruit moyen proche d'un seul électron tout en conservant des fréquences d'acquisition élevées. En plus de ces électroniques bas bruit, le rapport signal sur bruit (SNR) peut encore être amélioré dans certains dispositifs en multipliant les électrons du signal grâce au phénomène d'ionisation par impact. Un niveau de bruit relatif inférieur au dixième d'électron peut être atteint pour ces imageurs.

Cependant, de telles avancées se font au prix de caméras de plus en plus spécifiques à un type d'application donné en raison de la compétition entre gamme dynamique, fréquence d'image, facteur de multiplication et bruits associés. Par exemple, plus la fréquence d'image est élevée, moins le temps d'exposition sera long, et de fait, plus l'incertitude sur le signal sera grande en raison de la nature poissonnienne d'une grande partie des sources naturelles. Dans ce cas, la multiplication du signal peut être envisager pour améliorer le SNR. Mais cela réduit la gamme dynamique d'une part, et ajoute aussi un bruit lié à la nature stochastique du phénomène d'ionisation par impact. Le gain obtenu par la multiplication du signal est compensé par ce bruit en excès à partir d'un certain point (cf. Figure 1) [1, 2]. La caméra la plus adaptée à chaque type d'application sera donc fonction du signal à détecter et des conditions d'éclairément.

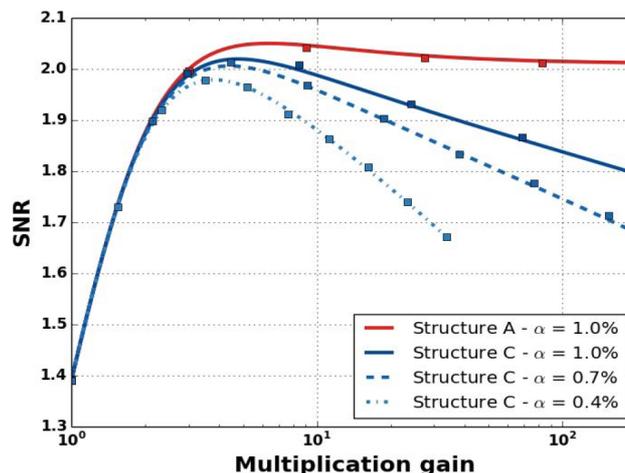


Figure 1 : Evolution du rapport signal sur bruit (SNR) en fonction du facteur de multiplication appliqué sur des structures de type EMCCD (A) ou EMCMOS (C) pour différents paramètres d'ionisation par impact α . Le signal et le bruit d'entrée sont respectivement de 8 et 5 électrons.

C'est dans ce contexte que seront présentées les nouvelles générations de caméras CMOS, en comparaison avec l'existant en technologie CCD. En partant des caméras bas bruit "scientifique" CMOS (sCMOS), de nouveaux concepts seront exposés tels que l'"electron bombarded" CMOS (ebCMOS, cf. Figure 2) [3], utilisant un tube à vide pour accélérer les électrons, ou encore l'"electron multiplying" CMOS (EMCMOS) intégrant des cellules de multiplications au sein même du pixel [4].

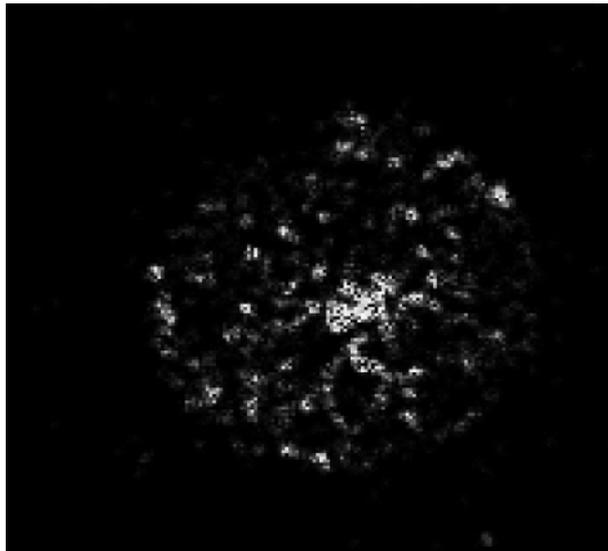


Figure 2 : Bioluminescence observée à 2500 de profondeur par la caméra ebCMOS LuSEApher au large Toulon, proche du télescope à neutrinos de l'expérience Antares

[1] M. S. Robbins and B. J. Hadwen, *The noise performance of electron multiplying charge-coupled devices*, IEEE Trans. Electron Devices, **50** (5) (2003)

[2] T. Brugière, F. Mayer, P. Fereyre, A. Dominjon, R. Barbier, *A theory of multiplication noise for Electron Multiplying CMOS image sensors*, IEEE Transactions on Electron Devices **61** (7) (2014)

[3] A. Dominjon, M. Ageron, R. Barbier et al., *An ebCMOS camera system for marine bioluminescence observation : The LuSEApher prototype*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Section A **695** (2012)

[4] T. Brugière, F. Mayer, P. Fereyre, C. Guerin, A. Dominjon, R. Barbier, *First measurement of the in-pixel electron multiplying with a standard imaging CMOS technology: Study of the EMCMOS concept*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Section A **787** (2015)