

# Amélioration des images sous-marines

## Projet Imagerie Numérique - MVA 2020

### 1. Introduction au problème et motivation

La capture d'image sous-marines est largement utilisée pour des applications telles que la navigation, la documentation des fonds marins et l'imagerie 3D. Cependant l'acquisition de ces images est grandement altérée par la nature réfractive, turbide et atténuante de l'eau. Ainsi des méthodes de traitements d'image ont été étudiées afin d'améliorer la couleur et le contraste d'images sous-marines.

Selon Schettini et Corchs [5], la mauvaise visibilité présente dans les images sous-marines s'explique par une atténuation exponentielle de la lumière avec la distance qu'elle parcourt dans l'eau. En effet, cette atténuation contribue au manque de contraste et au flou généralement présent sur ces images. Plus précisément, cette atténuation est due à l'absorption de la lumière, définie comme la diminution progressive de la quantité d'énergie dans le milieu, et à la diffraction, définie comme la modification de la trajectoire de la lumière dû à un changement de milieu. La diffraction n'est pas uniquement causée par le passage de la lumière de l'air à l'eau à la surface mais aussi par son interaction avec des particules de petite taille ou dissoutes dans l'eau telles que le plancton, des particules de sable, algues et micro-déchets. La présence de telles particules, notamment dans les eaux turbides, accroît les phénomènes d'absorption et de réfraction. De plus, avec l'augmentation de la profondeur, la lumière est atténuée et les couleurs qui la composent disparaissent une à une selon leur longueur d'onde. En particulier, la couleur bleue, ayant la longueur d'onde la plus courte, pénètre le plus profondément sous l'eau et est prééminente sur les images sous-marines. Finalement, les conditions d'illumination sous-marines dépendent de la météorologie, la distance côtière, la saison, la surface du milieu et le type de sol qui peuvent expliquer la turbulence du milieu, la densité de particules etc.

Pour résumer, les défauts des images sous-marines, causés par la nature du milieu aquatique, sont donc les suivants: une visibilité médiocre, un contraste faible, la présence de flou et de bruit, et une prédominance de la couleur bleue, appauvrissant les autres couleurs [5]. La Figure 1 illustre l'ensemble des causes de ses modifications.

Dans ce contexte d'amélioration d'images sous-marines,

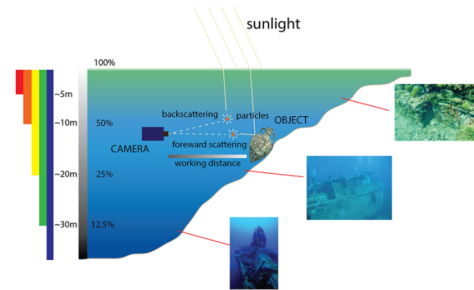


Figure 1. Schéma illustrant les conditions physiques pouvant causer l'altération de la capture d'images sous-marines

l'objectif de ce projet est d'implémenter et d'étudier des méthodes de correction de la couleur et du contraste.

### 2. Formulation du problème de la correction de la couleur

La capacité humaine à percevoir la couleur d'un objet éclairé dans une scène illuminée par une source de lumière colorée est appelée constance des couleurs. Par exemple, l'homme est capable de percevoir la couleur blanche d'un objet illuminé par une source de couleur de haute température et donc bleutée. Cependant lors de l'acquisition d'une image par un appareil numérique, les capteurs mesurant la lumière incidente ne sont pas capables de distinguer la lumière éclairante de celle diffusée par l'objet. Ainsi, il est nécessaire de corriger la couleur afin de retrouver celle perçue par l'homme. En traitement d'image, cette correction de couleur est faite en effectuant une balance de blancs qui permet d'obtenir une distribution de couleur centrée autour d'un point de référence appelé le "point blanc". Plus précisément, cette hypothèse d'un monde gris i.e "en moyenne" achromatique, justifie la renormalisation de chaque canal RGB d'une image par sa moyenne afin de recentrer les pixels autour du "point blanc". Cependant dans des conditions sous-marines, la méthode de balance de blancs n'est pas suffisante afin de reproduire la perception humaine de la couleur.

Ce projet a pour objectif de développer une méthode

de traitement d'image afin de mimétiser au plus proche la perception humaine des couleurs sous l'eau. Nous allons notamment appliquer la méthode proposée par Bianco *et al.* [1] afin d'améliorer la couleur et le contraste des images sous-marines. Les hypothèses nécessaires à prendre en compte lors de la prise des images sont les suivantes :

- Scène illuminée uniformément
- Non-considération des effets pouvant causer des dégradation du milieu (flou, bruit)
- Surface des objets lambertienne
- Acquisition dans la direction descendante, à courte focale

Nous considérons le modèle de formation d'image proposée par Gonzales et Woods en 1992 [2]. On note  $f_i(m, n)$  l'image sous-marine,  $g_i(m, n)$  l'illuminant et  $r_i(m, n)$  la réflectance avec  $i \in \{1, 2, 3\}$  correspondant à l'indice des canaux RGB.

$$f_i(m, n) = g_i(m, n) \cdot r_i(m, n) \quad (1)$$

### 3. La méthode de correction de couleur

Dans cette section nous décrivons la méthode de correction de couleurs des images sous-marines proposée par Bianco *et al.* [1]. Cette méthode est inspirée de celle proposée par Reinhard *et al.* qui proposent dans leur papier une méthode de correction de couleur sous une source colorée[3]. Cette méthode consiste à modifier une image RGB dans un espace de représentation prenant en compte la perception humaine de la couleur : l'espace  $l\alpha\beta$ . Cet espace fut proposé par Ruderman *et al.* en 1998 [4] et se découpe en trois composantes : une composante  $l$  (luminance) achromatique et deux composantes  $\alpha$  et  $\beta$  encodant respectivement chacune les chromaticités jaune-bleu ( $\propto R + G - B$ ) et rouge-vert ( $\propto R - G$ ), correspondant aux couleurs opposées permettant à notre système visuel de discriminer les couleurs.

On suppose que l'on travaille dans le cadre d'un monde gris et d'une scène uniformément illuminée. Après avoir effectué une correction non-linéaire gamma à notre image (avec  $\gamma = 2.2$  typiquement), on cherche à exprimer les coordonnées RGB de l'image  $f_i(m, n)$  dans l'espace XYZ, puis dans l'espace LMS. Ceci se traduit mathématiquement par la multiplication des coordonnées RGB par des matrices de conversion respectivement  $T_{xyz,ij}$  et  $T_{LMS,ij}$ ,  $i$  et  $j$  correspondant respectivement à l'indice de la ligne et de la colonne. L'expression des matrices est donnée à la fin de ce document.

$$l_{LMS,i}(m, n) = T_{xyz,ij} T_{LMS,ij} f_j(m, n) \quad (2)$$

Pour effacer les distorsions possibles de notre image on la représente dans l'espace logarithmique.

Puis afin de décorréler les différents axes, on utilise la méthode PCA proposée par Ruderman *et al.* [4], qui consiste à multiplier notre dernière équation par la matrice de conversion  $T_{PCA,ij}$ . Finalement on a une expression des coordonnées RGB dans l'espace  $l\alpha\beta$  :

$$l_{\alpha\beta,i}(m, n) = T_{PCA,ij} \log l_{LMS,i}(m, n) \quad (3)$$

Après avoir exprimé nos coordonnées RGB dans l'espace  $l\alpha\beta$  on corrige les composantes chromatiques. Sous l'hypothèse d'un monde gris, on suppose que la moyenne de chaque canal de notre signal RGB doit correspondre au gris. Cette hypothèse se traduit par la normalisation des coordonnées RGB par sa moyenne. Dans l'espace  $l\alpha\beta$ , ceci revient à traduire les distributions chromatiques autour du point blanc de coordonnées  $\{0, 0\}$  en soustrayant aux composantes  $\alpha$  et  $\beta$  leurs moyennes respectives. Ainsi pour  $i \in \{2, 3\}$  :

$$l_{\alpha\beta,i}^*(m, n) = l_{\alpha\beta,i}(m, n) - \bar{l}_{\alpha\beta,i}(m, n)$$

avec  $\bar{l}_{\alpha\beta,i}(m, n)$  la moyenne de  $l_{\alpha\beta,i}(m, n)$ . Bianco *et al.* [1] stipulent qu'expérimentalement soustraire la médiane est plus efficace. La composante  $l$  reste quant à elle inchangée. On la modifiera ultérieurement pour améliorer le contraste de l'image.

Finalement, grâce à une transformation inverse nous pouvons convertir nos coordonnées  $l\alpha\beta$  en coordonnées RGB et observer l'image corrigée.

## 4. Résultats expérimentaux et discussions

### 4.1. Correction de la couleur

Nous avons travaillé avec des images 3840x2160 sous-marines prises par nous-mêmes avec une GoPro Hero 4. Afin de respecter l'hypothèse d'une illumination uniforme de la scène nous avons pris des photos à courte focale dirigées vers le bas. Les images ont été prises à une profondeur comprise entre 3 et 6 m. Nous avons également testé les limites de cette hypothèse en appliquant la méthode sur des images prises dans la direction horizontale, avec une plus grande focale.

Nous avons implémenté la méthode sur Python 3 et travaillé avec des images re-dimensionnées à une taille 540x960. La Figure 2 illustre l'impact de la correction de couleur dans l'espace  $l\alpha\beta$  sur les valeurs de pixels des composantes chromatiques. En représentant notre image dans le plan  $\alpha - \beta$  on observe que la méthode utilisée permet de recentrer les valeurs de pixels autour du "point blanc". On remarque que l'hypothèse d'un monde gris dans l'espace RGB peut se traduire par une balance des blancs dans l'espace  $l\alpha\beta$ .

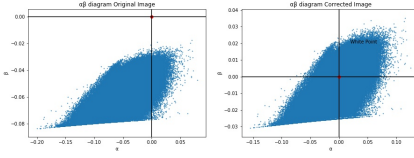


Figure 2. Diagramme des pixels représentés dans le plan  $\alpha - \beta$  avant et après correction de la couleur sur les composantes chromatiques.

La Figure 3 présente des résultats de l'application de méthode de correction de couleur.

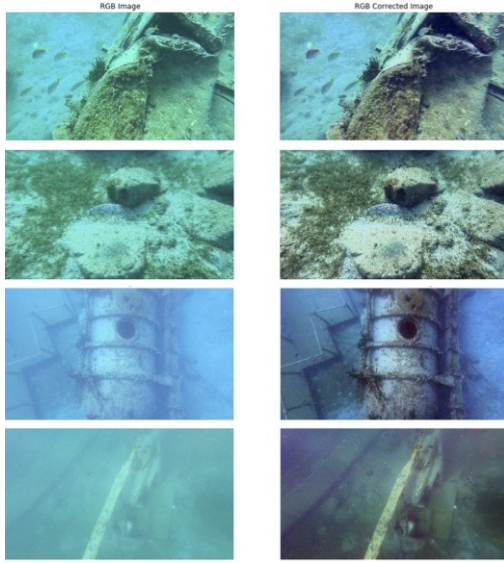


Figure 3. Exemples d'applications de la méthode de correction et couleur: à gauche l'image originale, à droite l'image corrigée.

Nous avons également comparé la méthode de correction des composantes chromatiques en soustrayant la moyenne et la médiane. La différence semble indiscernable pour toutes les images avec lesquelles nous avons travaillé.

#### 4.2. Correction du contraste

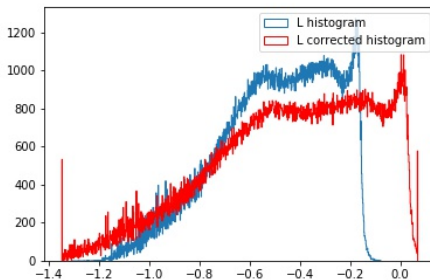


Figure 4. Histogramme des pixels de la composante  $l$  après correction du contraste (troncature puis stretching)

Afin d'améliorer le contraste de notre image, on corrige la coordonnée correspondant à la luminance dans l'espace  $l\alpha\beta$ . Tout d'abord, on trace l'histogramme de la composante  $l$  afin de vérifier l'hypothèse d'illumination uniforme de la scène. Si l'histogramme est centré autour d'un ou plusieurs pics notamment dans les valeurs de pixels clairs, l'hypothèse doit être rejetée. Afin d'améliorer le contraste, Bianco *et al.* proposent de comparer plusieurs méthodes. La première est d'effectuer une troncature à 1 pourcent de notre histogramme pour les valeurs sombres et claires de nos pixels, puis d'étendre les valeurs de l'histogrammes. Ils proposent également d'utiliser CLAHE et une égalisation d'histogramme, toujours en travaillant sur la composante  $l$ .



Figure 5. Image originale

La Figure 6 illustre ces trois méthodes appliquée à l'image ci-dessus.

La Figure 7 ci-dessous, illustre la correction de contraste sur la composante luminance.

Nous avons également comparé la méthode de correction de couleur dans l'espace  $l\alpha\beta$  avec celles dans d'autres espaces:  $CIE Lab$  et  $Luv$ .

### 5. Évaluation et discussion

Dans cette section nous allons discuter des différentes hypothèses et explorer leur limites.

#### Hypothèse de courte focale et direction descendante

Nous pouvons appliquer la méthode de correction de couleur proposée par Bianco *et al.* sous l'hypothèse d'une image prise dans la direction descendante et avec une courte focale. Or, on peut observer sur la Figure 9, que les images étant prises avec une focale "moyenne" ne sont pas bien corrigées dans le fond de l'image qui garde une couleur bleue. Ceci illustre la limite de l'hypothèse qui reste assez contraignante. En effet elle remet en cause la possibilité d'utiliser cette méthode pour par exemple cartographier les fonds marins, où la profondeur peut rapidement dépasser 2 m.

#### Hypothèse d'une scène uniformément illuminée.





Figure 6. Correction de contraste

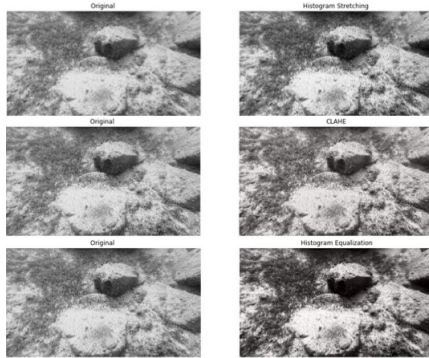


Figure 7. Correction de contraste sur la composante luminance.

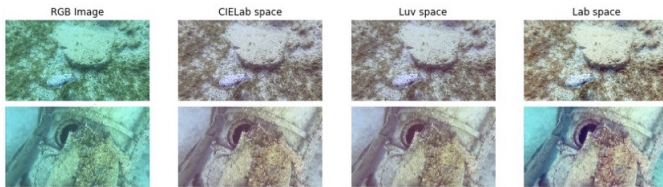


Figure 8. Comparaison avec la correction de couleur dans d'autres espaces

La mer est un milieu physique turbulent qui contient des particules causant la réfraction et la diffusion de la lumière incidente. Outre la modification de la couleur liée à la profondeur, la concentration en microparticules (sable,

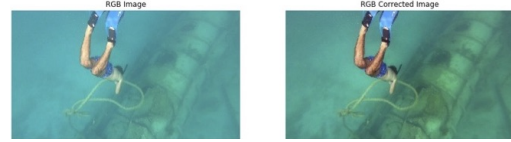


Figure 9. Correction de couleur d'une image avec focale moyenne

algues, plancton, microplastiques...) peut également altérer la couleur en modifiant la longueur d'onde de la lumière diffusée par l'illuminant.

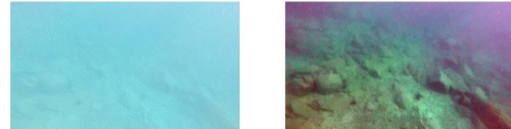


Figure 10. Correction de couleur d'une image non uniformément illuminée

On observe ci-dessus la distorsion de la couleur sur le haut de l'image. Recevant une luminosité faible (le soleil pouvant être occulté par un nuage) et la scène n'étant pas uniformément illuminée on observe une correction de couleur non-satisfaisante. Certes la méthode a permis d'améliorer le contraste général de l'image mais les couleurs tirent vers le vert et le rouge et ne sont pas correctement corrigées.



Figure 11. Correction de couleur d'une image avec milieu turbulent

Par ailleurs, on remarque dans le Figure 8 que la correction de couleur est meilleure dans l'espace  $l\alpha\beta$  que dans les espaces  $CIE_{Lab}$  et  $Luv$  pour la première image. Cependant l'hypothèse d'une acquisition orientée vers le bas semble être moins contraignante pour les espaces  $CIE_{Lab}$  et  $Luv$ . En effet, pour la deuxième image de la Figure 8, la couleur bleue du fond parvient à être corrigée dans ces espaces alors qu'elle reste persistante dans celle corrigée dans l'espace  $l\alpha\beta$ .

## 5.1. Évaluation quantitative

Dans cette section, nous allons étudier les résultats du sondage que nous avons effectué, basé sur trois questions. Pour chaque question, les 21 participants devaient choisir entre deux corrections différentes d'une même image (avec 6 paires d'images par question). Les trois questions étaient les suivantes:

1. Sur quelle image voit-on mieux les couleurs du fond marin?
2. Quelle image a le meilleur contraste?
3. Quelle image est la plus réaliste?

Les méthodes comparées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Question	Méthodes Comparées
1.	Couleur: $L\alpha\beta$ vs. aucune correction
2.	Contraste: CLAHE vs. Étirement de l'histogramme
3.	$L\alpha\beta$ + CLAHE vs CIELAB + CLAHE

Table 1. Méthodes comparées dans le sondage

Le  $\alpha$  des tests statistiques était de 0.05. Pour la première question, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre la correction de la couleur dans l'espace  $L\alpha\beta$  et l'absence de correction. Pour la deuxième question, il y avait une différence significative entre les deux méthodes de correction du contraste, en faveur de la méthode CLAHE. Enfin, pour la troisième question, il n'y avait pas de différence significative entre les deux méthodes.

Nous estimons que la valeur de ce sondage pour la correction de la couleur est à relativiser. En effet, suite à des discussions avec les participants, il apparaît que les critères d'évaluation pour la correction de la couleur ne sont pas clairs et objectifs. En effet, lorsqu'on regarde les couleurs du fond marin en plongée, les couleurs ne sont pas corrigées et, par conséquent, on pourrait estimer qu'une image non-corrigée est plus proche de la réalité qu'une image améliorée avec les techniques ci-dessus. Le réalisme ou la qualité des couleurs d'une image ne suffit pas, selon nous, pour juger de la qualité d'une méthode d'amélioration d'images sous-marines. Il faudrait évaluer ces méthodes dans un contexte spécifique avec un objectif bien défini, comme reconnaître les formes et couleurs, telles qu'elles apparaîtraient si elles étaient éclairées par une lumière blanche, d'objets sur le fond marin.

Pour ce qui est de la correction du contraste, la supériorité de la méthode CLAHE sur la méthode de étirement de l'histogramme n'est pas surprenante car elle est reflétée dans nos résultats qualitatifs: CLAHE permet d'obtenir un contraste équilibré alors que l'image résultant de l'étirement de l'histogramme est nettement trop sombre.

## 6. Conclusion

Pour conclure, nous avons étudié, implémenté et testé la méthode de correction de couleur d'images sous-marines prises par nos propres soins. Cette méthode proposée par Bianco *et al.* s'inspire des travaux menés par Reinhard en 2001 qui corrige les images illuminées par une source colorée dans l'espace  $L\alpha\beta$ , espace permettant de représenter

la perception humaine de la couleur.

Nous avons pu montrer que sous les hypothèses proposées pour appliquer cette méthode, les résultats de correction de couleur étaient qualitativement meilleurs que ceux effectués dans d'autres espaces comme *CIELab* et *Luv*. Cependant l'hypothèse d'une acquisition descendante et à courte focale semble être contraignante pour une correction totale de la couleur bleue qui peut demeurer présente si la profondeur de l'image est trop grande. En particulier, cette hypothèse peut poser problème pour la cartographie de fonds marins par exemple.

Concernant l'amélioration de contraste, CLAHE, méthode largement utilisée dans le traitement d'image, appliquée à la composante achromatique de l'image semble être convenable.

Finalement, ce projet nous a permis d'implémenter un papier et d'étudier les limites des hypothèses suggérées. En outre, la remise en cause des hypothèses était sincère puisque nous avons cherché à faire nous-même l'acquisition des images sur lesquelles nous avons travaillé.

## References

- [1] G. Bianco, M. Muzzupappa, F. Bruno, R. Garcia, and L. Neumann. a new color correction method for underwater imaging. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL55, April 2015. 2
- [2] R. Gonzalez and R. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 1992. 2
- [3] E. Reinhard, M. Adhikhmin, B. Gooch, and P. Shirley. Color transfer between images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(5):34–41, 2001. 2
- [4] D. Ruderman, Thomas W Cronin, and C. Chiao. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding. *Journal of The Optical Society of America A-optics Image Science and Vision*, 15:2036–2045, 1998. 2
- [5] Raimondo Schettini and Silvia Corchs. Underwater image processing: State of the art of restoration and image enhancement methods. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010. 1

## 7. Appendix

$$T_{xyz,ij} = \begin{pmatrix} 0.5141 & 0.3239 & 0.1604 \\ 0.2651 & 0.6702 & 0.0641 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{pmatrix}$$

$$T_{LMS,ij} = \begin{pmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{pmatrix}$$

$$T_{pca,ij} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$