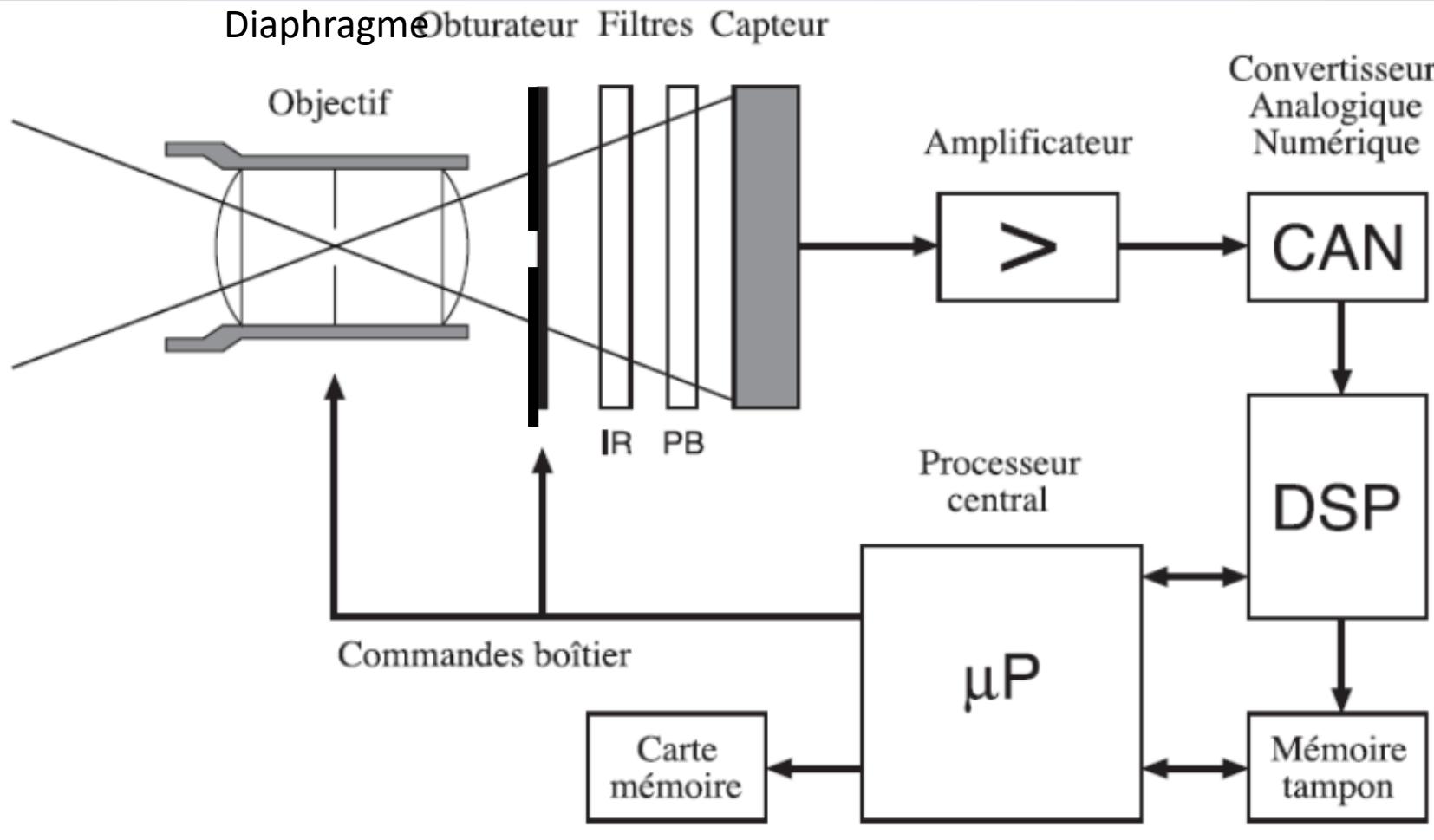


Robotique: Outils d'imagerie

Caméras pour la robotique - traitement

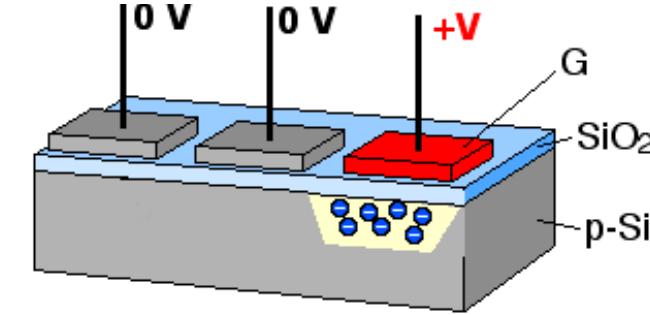
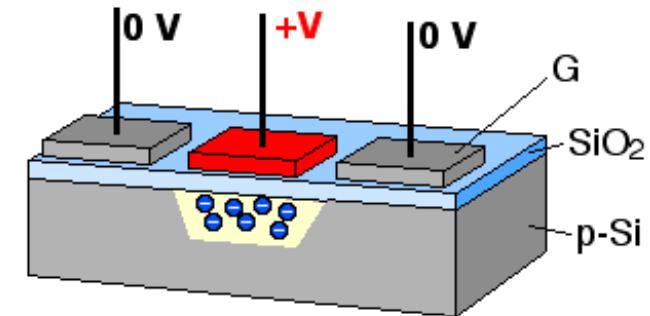
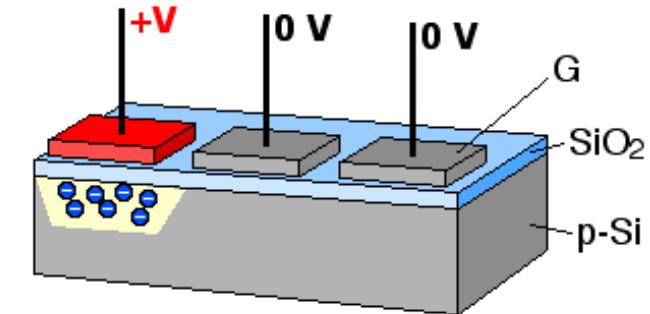
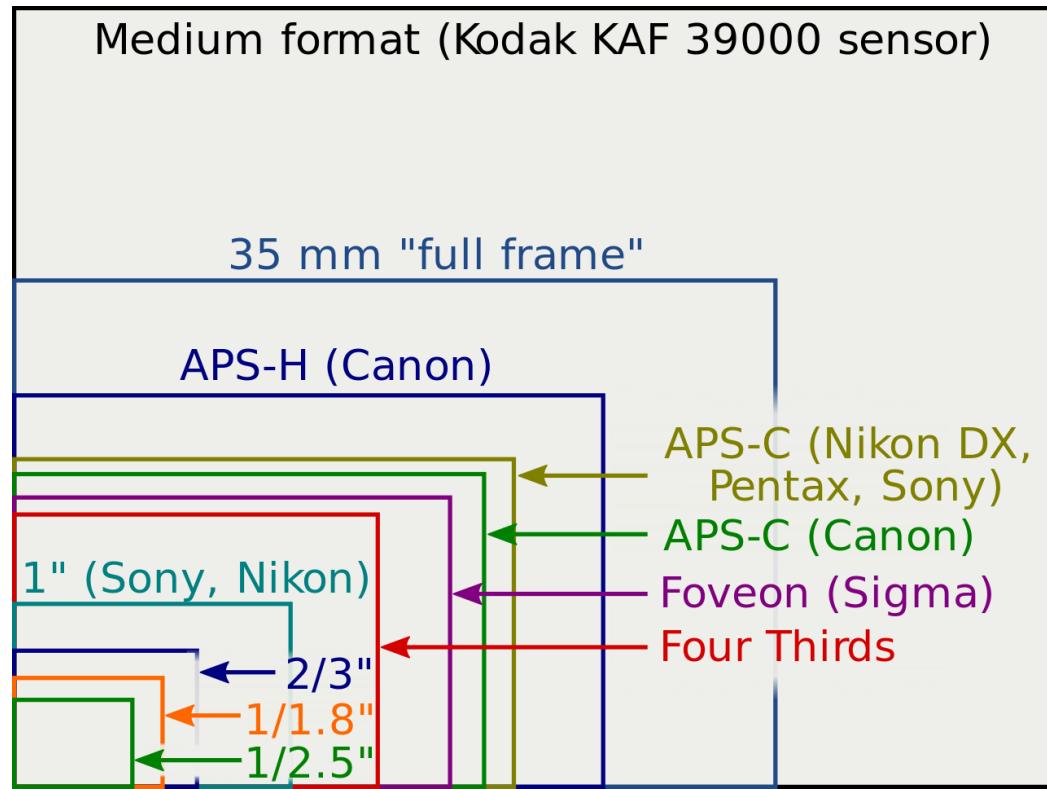
Jean-Philippe BRUNET

Principe de base des caméras numériques

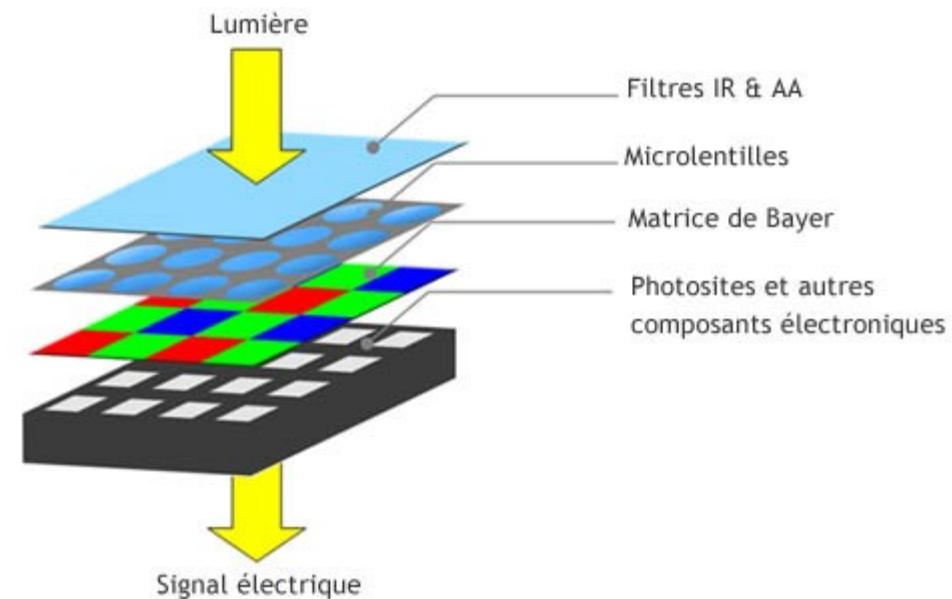
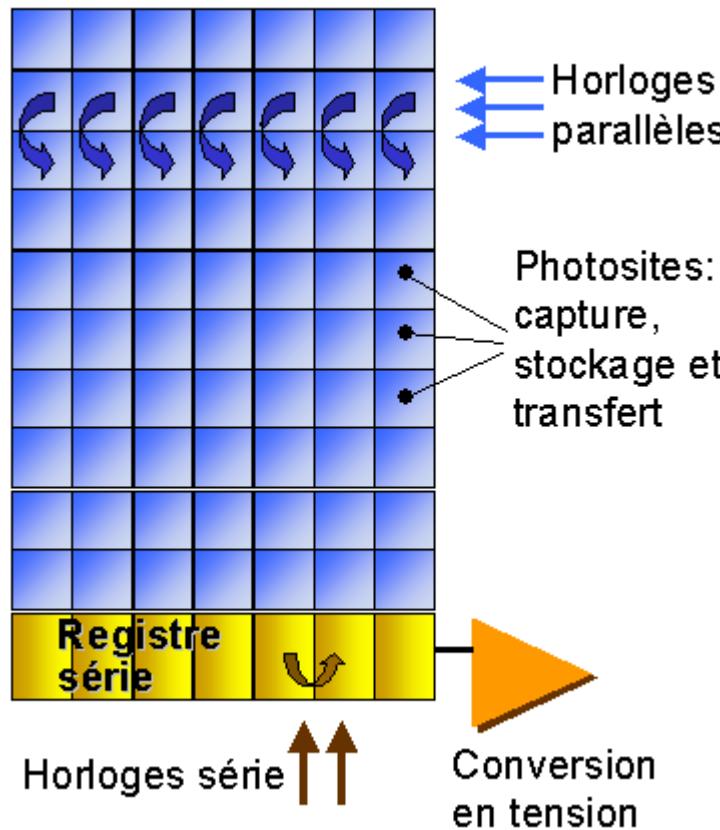


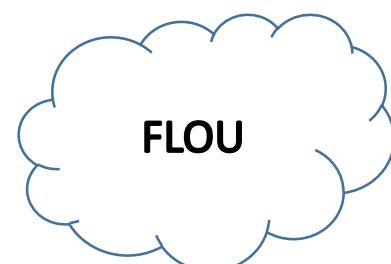
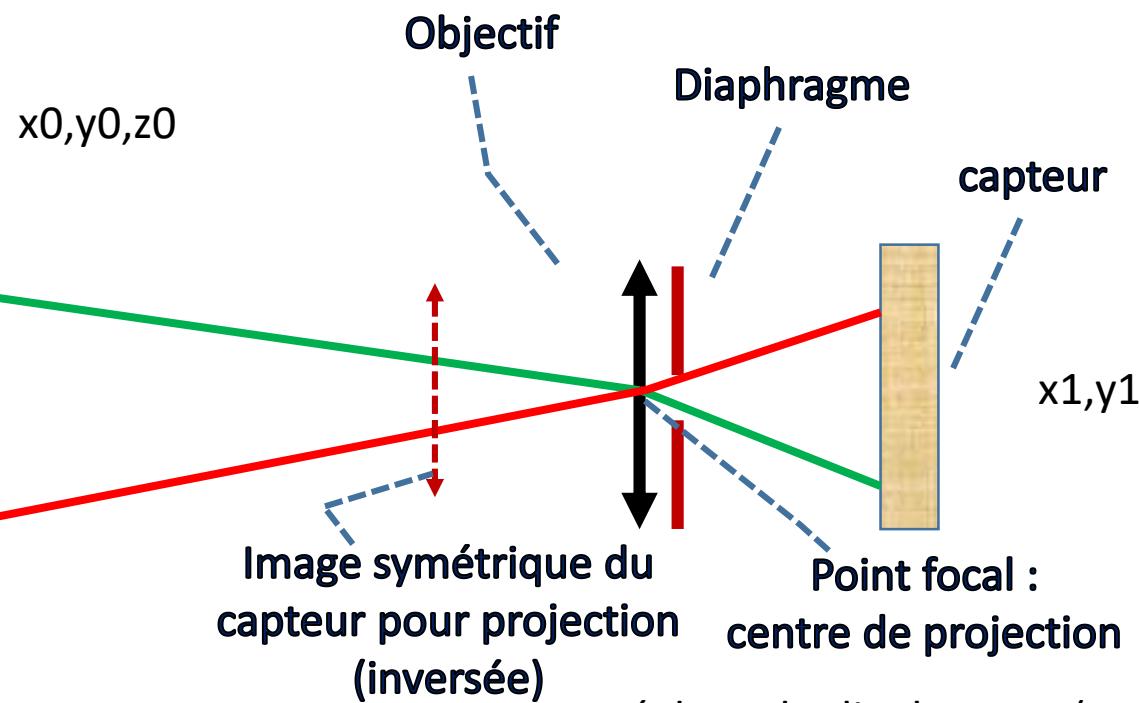
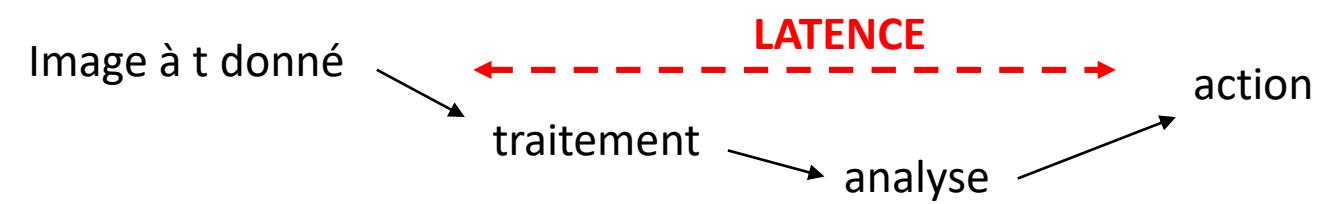
- *Objectif : Focalise les rayons lumineux sur le capteur*
- *Diaphragme: ajuste l'ouverture de l'objectif*
- *Obturateur: Stoppe l'accumulation de charges sur le capteur pendant le transfert de l'image*
- *Filtre infrarouge: Permet un rendu réaliste des couleurs*
- *Matrice couleur: affecte chaque photosite à une couleur donnée*
- *Capteur: convertit la lumière en électrons et assure le transfert de ces électrons vers le ou les amplificateurs*
- *Amplificateur : convertit la charge des électrons en une tension compatible avec le convertisseur*
- *DSP (Digital Signal Processor) Assure la conversion de l'image brute en une image au format traité (jpg, mpg, H264...)*

Matrice photographique (CCD, CMOS)



Matrice photographique





Le réglage du diaphragme (aperture) si il existe permet de régler la profondeur de champ et le compromis zone de netteté – luminosité
Plus ouvert => moins de profondeur => plus de flou
Plus ouvert => plus de lumière



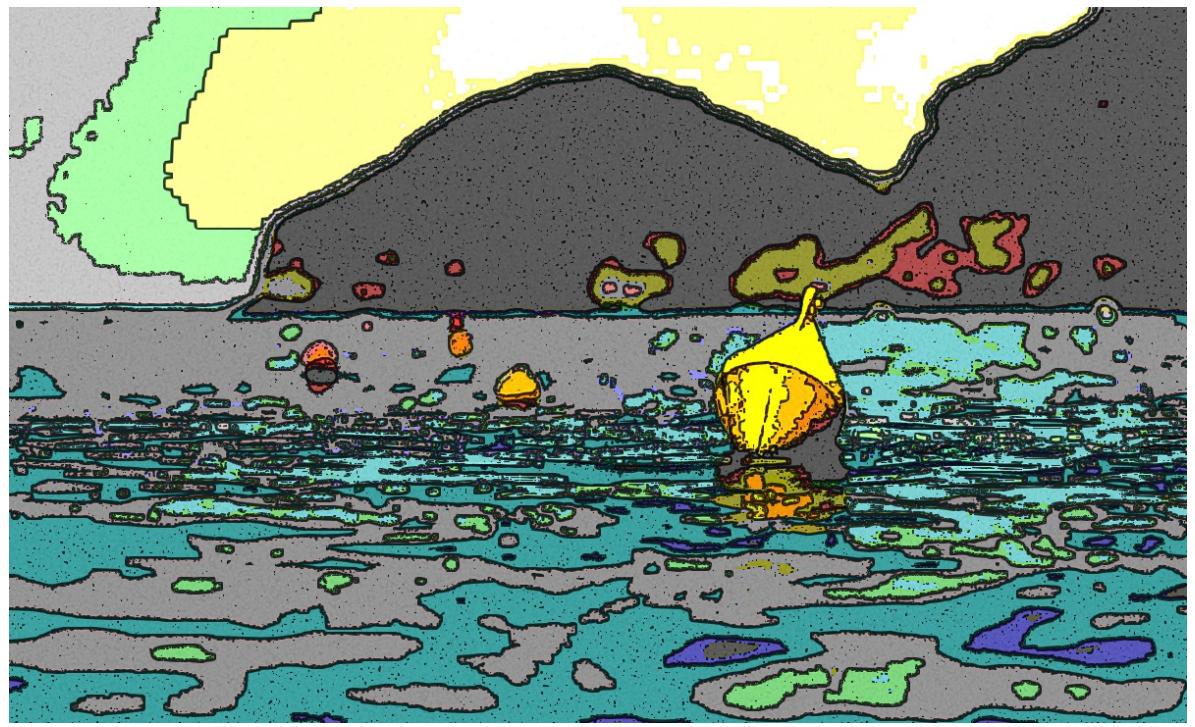
Exemple de traitement d'une image

Image redressée



Utilisation d'un traitement pour extraire la ligne d'horizon... pas toujours évident (vagues)

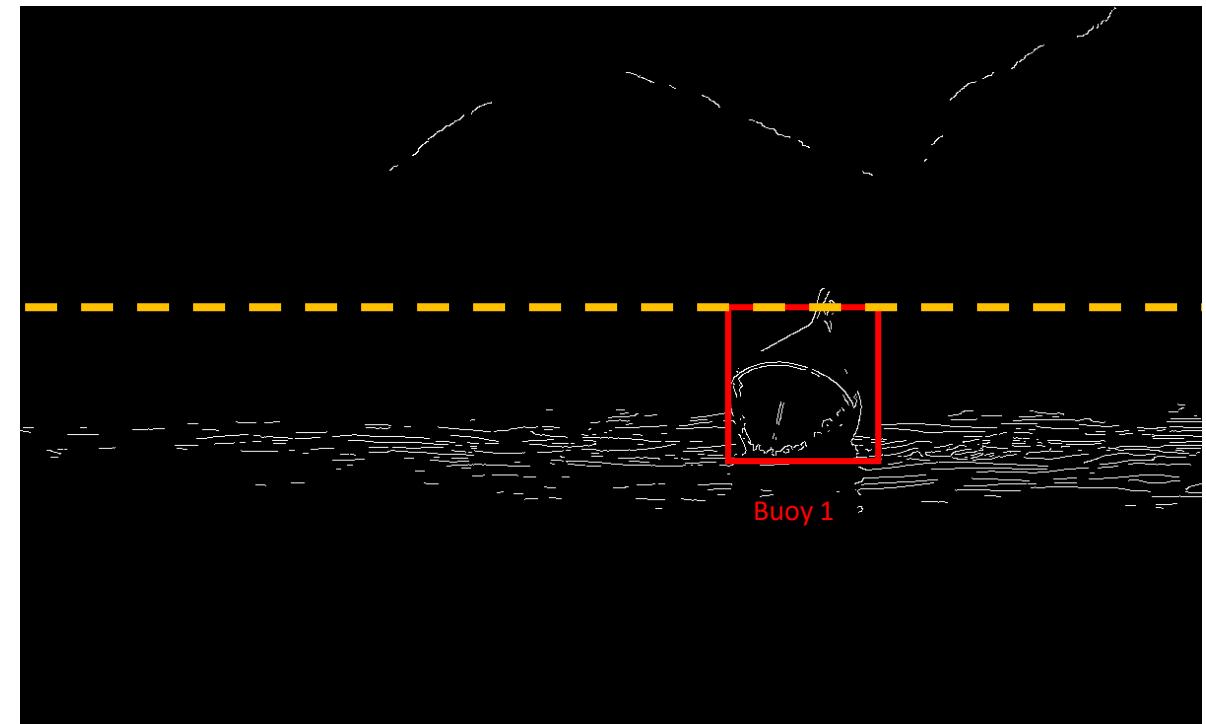
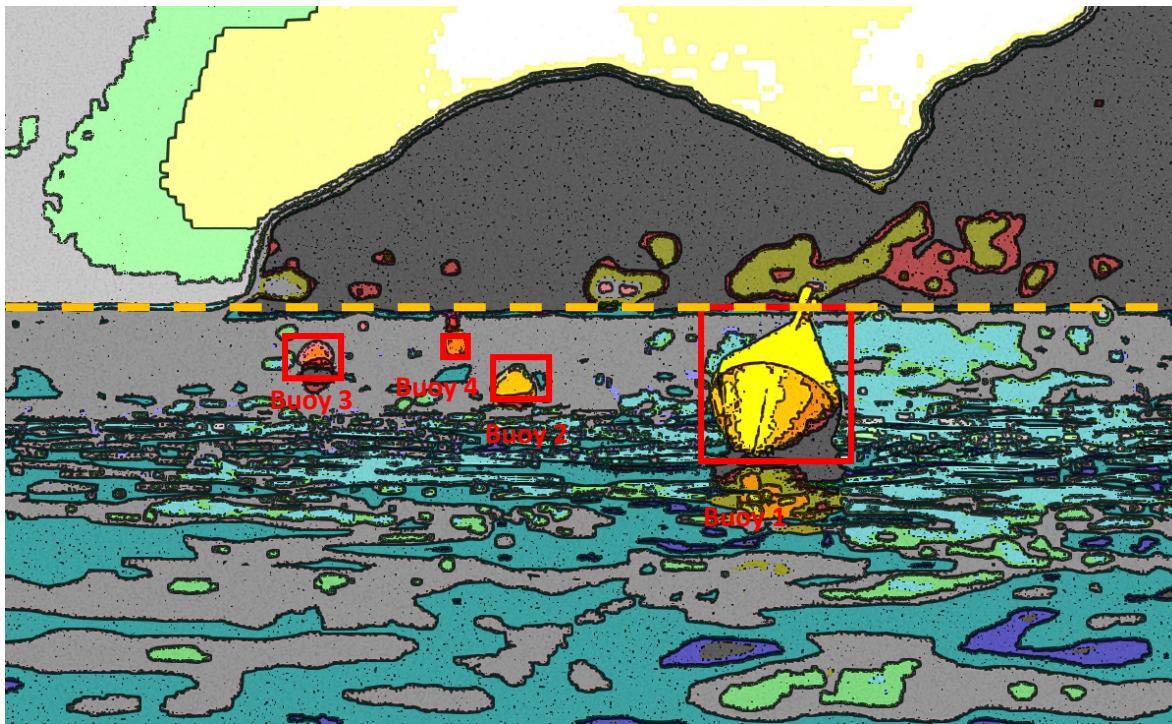
Utilisation de la couleur extraction des contours



Extraction de contour en noir et blanc

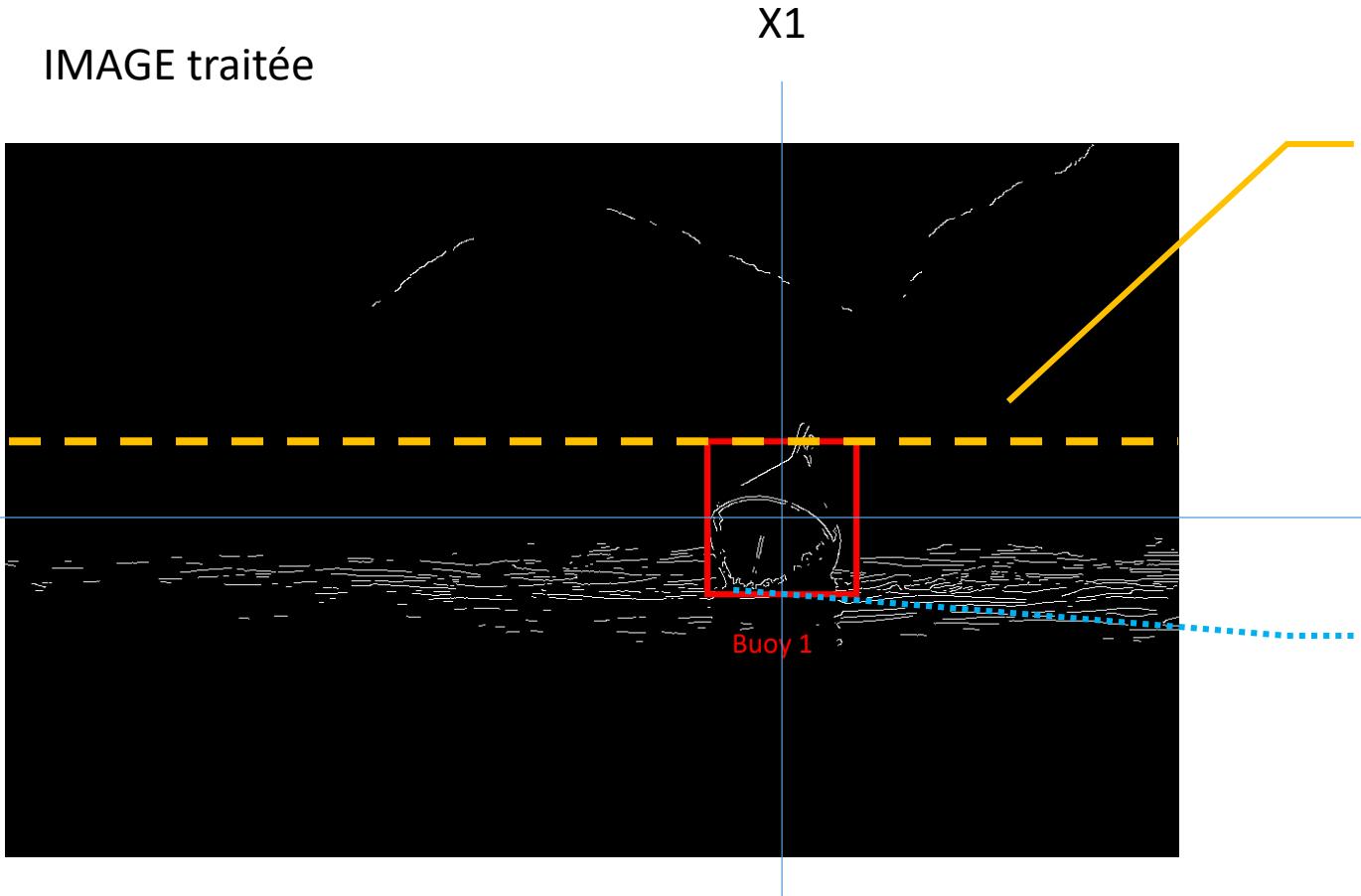


Identification de la bouée



Calcul des éléments géométriques

IMAGE traitée



La ligne d'horizon permet de déterminer les paramètres de visée de la caméra par rapport au plan d'eau

Y_1

Les coordonnées de l'intersection avec la surface vont permettre de calculer la distance de la bouée

Passage de l'image au monde 3D

Transformation $x_1, y_1 \Rightarrow x, y, z$

- L'orientation absolue consiste en une transformation inverse de l'image dans le monde 3D.
- La transformation qui permet de passer des coordonnées 2D x_1, y_1 de l'image aux coordonnées 3D x, y, z du terrain est une similitude contenant 7 paramètres. Cette transformation comporte:
 - 3 translations (T_x, T_y, T_z).
 - 3 rotations $R(k, \omega, \phi)$
 - 1 facteur d'échelle λ

Lignes de vue

- Le monde 3D x,y,z se traduit dans un monde 2D par des lignes de vue
- Chaque ligne de vue correspondra à un pixel sur l'objectif
- La plupart des objets sont opaques=> on ne voit du monde 3D que la surface du premier voxel rencontré dans la ligne de vue
- Lorsque l'environnement comporte des réflecteurs (miroirs, fenêtres, surface de l'eau) les lignes de vue qui traversent le réflecteur sont brisées. Seule une résolution dynamique par déplacement (inversion de la profondeur, fluctuation) résoudra l'ambiguité
 - Rappel : un miroir n'inverse pas la **droite** et la **gauche**, il inverse **l'avant** et **l'arrière**!

Passer de l'image au monde 3D

- La centrale à inertie fournit les informations de changement d'orientation de repère
- L'algorithme de navigation (SLAM, GPS+Kalman ...) fournit les informations de translation de repère
- On peut alors recaler les lignes de vue dans le monde x,y,z
- La ligne de vue n'est pas l'objet, il y a une ambiguïté
- On a besoin d'une information additionnelle sur l'objet:
 - Mesure de distance par un capteur annexe
 - Evaluation de la distance si la taille est connue par perspective
 - Connaissance à priori qu'il est posé ou flotte sur le même plan horizontal que nous
 - On a une deuxième caméra (vision stéréoscopique)
 - On se déplace d'un vecteur connu et on reprend une image

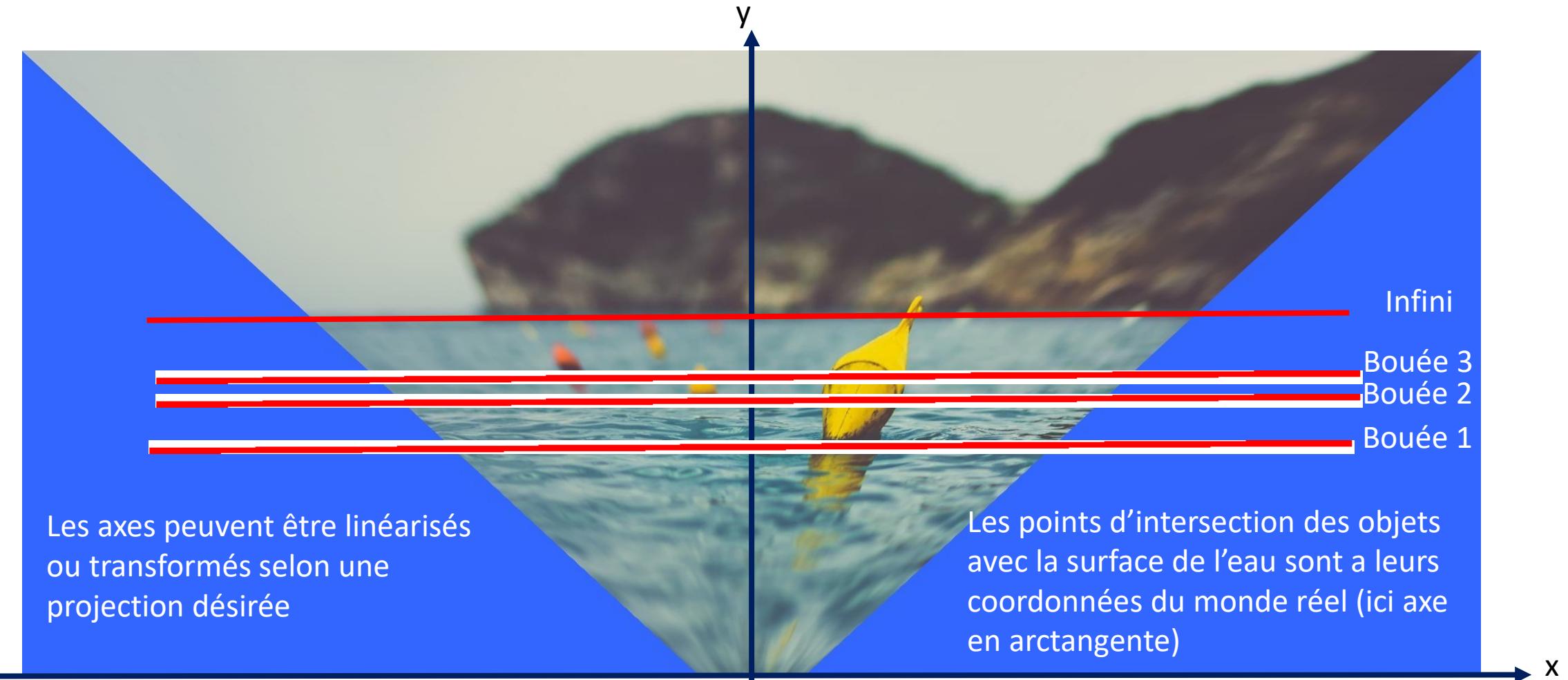
On peut alors résoudre l'équation

- Plan horizontal : on calcule l'intersection de la ligne de vue
 - On peut précalculer ou calibrer la caméra pour avoir dans l'image stabilisée (compensée en roulis) une correspondance directe $y_1 \Rightarrow \text{distance}$
 - Sur un mobile soumis au tangage, la ligne d'horizon sert d'origine pour le repère y
 - dans ce cas la ne pas prendre le barycentre mais utiliser la ligne de contact ou le point le plus bas comme référence!
- Caméra stéréo => Calcul géométrique a partir de la base connue des deux points focaux
- Déplacement connu => Calcul géométrique
 - a partir des deux points (objet fixe)
 - A partir de trois points (objet en mouvement rectiligne uniforme)
 - A partir de n points (objet avec une trajectoire approximée par un polynôme d'ordre n)

Ne vous laissez pas impressionner par la complexité des trajectoires

Dans le monde réel le mouvement d'un objet est toujours continu!

Recalage du plan horizontal (perspective)

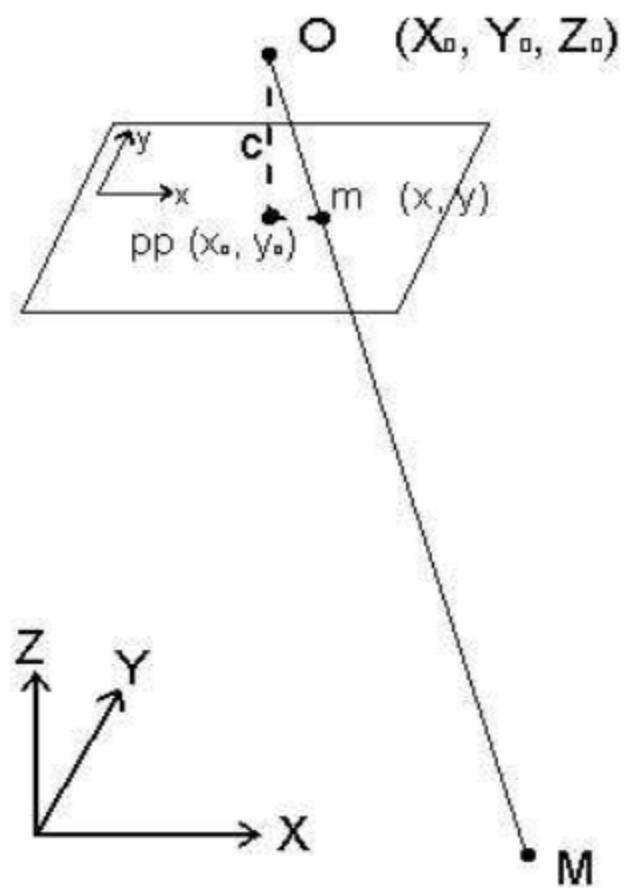


Exemple d'axe linéarisé: Caméra de parking

Méthode des faisceaux

- une solution pour orienter les images est d'utiliser la méthode des faisceaux. Tous les paramètres d'orientation des images sont déterminés en une seule étape.
- Cette méthode nécessite la connaissance d'au moins 6 points de calage correctement répartis dans l'espace tridimensionnel.
- Cette méthode permet de passer directement d'un point terrain M à un point image m.
- Elle se base sur l'utilisation des coordonnées image comme observation et sur l'emploi d'une projection centrale.
- La formule qui suit présente l'équation permettant de relier les coordonnées d'un point sur la photographie notée (x_1, y_1) , à ses coordonnées terrain notées (x, y, z) . Cette équation est appelée équation de colinéarité

Colinéarité avec un centre de projection



Point focal-centre de projection

Plan capteur virtuel (voir page 5)

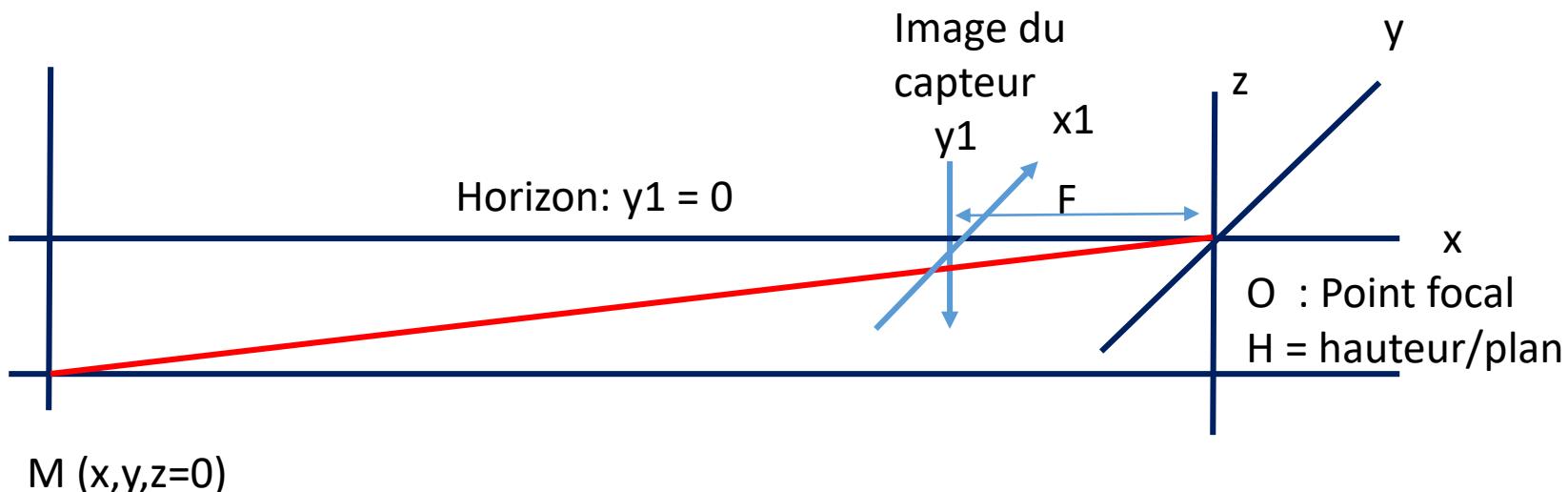
$$\begin{cases} x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\ y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \end{cases}$$

Relation de l'image avec le monde réel

- Le modèle sténopé (« pinhole » en anglais) modélise une caméra par une projection perspective.
- Utilisable si objectif sténopé, ou si image corrigée des déformations géométriques de l'objectif.
- Ce modèle transforme un point 3D de l'espace (x,y,z) en un point-image (x_1,y_1) et peut se décomposer en trois transformations élémentaires successives.
 - transformation entre le repère du monde et celui de la caméra (IMU, NAV)
 - transformation entre le repère caméra et le repère capteur virtuel (Colinéaire)
 - transformation entre le repère capteur et le repère image (pixels).

Exemple : calculer la distance d'un objet dont on sait qu'il est dans le plan horizontal

- On veut calculer la distance d'un objet dans un plan horizontal par rapport à une caméra
- Il faut donc calculer l'intersection des lignes de vue passant par le point focal avec un plan horizontal de référence
- L'image est supposée calée avec une ligne d'horizon à l'ordonnée $y=0$
- L'axe y de l'image pointe de l'horizon vers l'objectif



Capteur 12 mm x 9 mm
 $W=1200 \times h = 900$ pixels
 Cx, cy = coordonnées pixel
 $F = 10$ mm (focale)
Triangles semblables:
 $Y_1/F = H/x$
D'où la distance
 $x = H*F/y_1$
Même raisonnement sur $y = f(x_1)$
en utilisant le x calculé
 $X_1/F = y/x$
 $y = x*F/x_1$
Calculer: $x, y = f(cx, cy)$

Attention a la notion d'infini en optique

N'oubliez pas la notion d'infini en optique:
en travaillant dans un plan la projection
du pixel de la ligne d'horizon
s'étend jusqu'à l'infini optique