

Référence au programme

Premier semestre – 1^{ère} partie : signaux physiques

Bloc 3 – Optique géométrique

Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.

Présentation

L'approche documentaire proposée comporte trois documents :

- **Document 1** : un document texte, qui est directement adapté d'un site d'amateur de photographie, présentant les effets des principaux paramètres physiques (vitesse, ouverture, focale) sur l'image obtenue. On a volontairement conservé les termes usuels en photographie qui diffèrent souvent du langage du physicien.
- **Document 2** : un document photographique proposant des illustrations simples des effets en jeu, dans l'ordre : la vitesse, l'ouverture, la focale, l'esthétique.
- **Document 3** : un exemple de fiche d'exploitation.

Scénario pédagogique

Plusieurs scénarios pédagogiques peuvent être mis en place autour de cette approche documentaire selon les objectifs pédagogiques recherchés, la classe, le mode de restitution choisi, ...

Exemple 1

On peut penser projeter les images en classe afin de créer une situation déclenchante et de cadrer le champ de l'étude.

On donne ensuite le document texte aux étudiants accompagné de la fiche d'exploitation.

La lecture peut être réalisée hors du temps de classe, les images étant laissées à disposition des élèves sur un serveur de fichiers.

La fiche d'exploitation jointe peut donner lieu, pour tout ou partie des questions proposées :

- A une simple restitution en classe
- A un devoir en temps libre

Exemple 2

Une approche documentaire peut donner également lieu à une exploitation moins scolaire consistant en une restitution orale des documents par un groupe d'élèves sur une durée courte (1 à 2 transparents ou diapositives, 5 à 10 minutes).

Le groupe peut se focaliser sur un point de son choix en s'appuyant sur les documents fournis et/ou les questions de la fiche d'exploitation ; ce type de document doit permettre à tout étudiant d'approfondir le sujet selon ses capacités.

Par exemple, un point capital dans la prise de vue est la profondeur de champ : un groupe d'élèves peut réaliser une étude quantitative en s'appuyant sur la relation fournies dans le document et/ou les questions 3 et 4 de la fiche d'exploitation. Un groupe plus à l'aise techniquement pourra se mettre à l'épreuve en recherchant l'origine et en l'établissant.

Synthèse du professeur

L'étude et la restitution se terminent par la synthèse du professeur. Il est important que l'on retienne :

- que les paramètres vitesse et ouverture déterminent l'énergie lumineuse reçue par le capteur,
- que le caractère granulaire du capteur est à l'origine de l'effet de profondeur de champ.

On peut mentionner enfin qu'un réglage de sensibilité du capteur peut être mise à profit afin de faire face à des situations extrêmes (très faible/forte luminosité, mouvement très lent ou très rapide du sujet). Cette adaptation nécessitait un choix soigneux de pellicule photographique en photographie argentique dans le passé, un simple réglable étant possible aujourd'hui avec les capteurs numériques.

Document 1

Quelques rudiments de photographie : la vitesse, l'ouverture et la focale

On présente ici le principe général de **l'exposition**, ainsi qu'une vue d'ensemble des paramètres qui lui sont associés : vitesse, ouverture, focale.

Voyons déjà ce que signifie "une photo correctement exposé". En fait, c'est bien simple : une photo correctement exposée est obtenue lorsque le capteur numérique l'appareil photo a reçu une quantité de lumière appropriée par rapport à la luminosité de la scène que l'on a photographiée. Concrètement, la photo ne sera donc ni trop claire, ni trop sombre, mais bien équilibrée du point de vue de la quantité de lumière. Cette quantité de lumière dépend des deux paramètres suivants :

- **la vitesse de l'obturateur, où temps de pose (T, en s)**

L'obturateur est un diaphragme devant le capteur de l'appareil photo, qui s'ouvre plus ou moins longtemps, déterminant ainsi la vitesse d'exposition ou temps de pose T. En d'autres termes, la vitesse détermine combien de temps le capteur de l'appareil photo va être soumis à la lumière. La vitesse s'exprime généralement en secondes ou fractions de seconde. Schématiquement :

- ✓ un long temps de pose (ou vitesse lente), par exemple 1 seconde, permet d'exposer longtemps la surface sensible de l'appareil (film argentique ou capteur numérique), ce qui est utile pour les scènes peu lumineuses (permet d'éviter la sous-exposition) ;
- ✓ un court temps de pose (ou vitesse rapide), par exemple 1/1000 de seconde, permet d'exposer très peu de temps la surface sensible de l'appareil, ce qui est utile pour les scènes très lumineuses (permet d'éviter la sur-exposition).

Quand on double le temps de pose en avançant d'un cran (par exemple de 1/4 s. à 1/2 s.), on double la durée de l'exposition et par conséquent on double l'énergie lumineuse que le capteur de l'appareil va recevoir. Les valeurs habituelles trouvées sur les APN sont les suivantes :

Temps de pose T (s)						
1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60
1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2

- **l'ouverture du diaphragme de l'objectif (NO)**

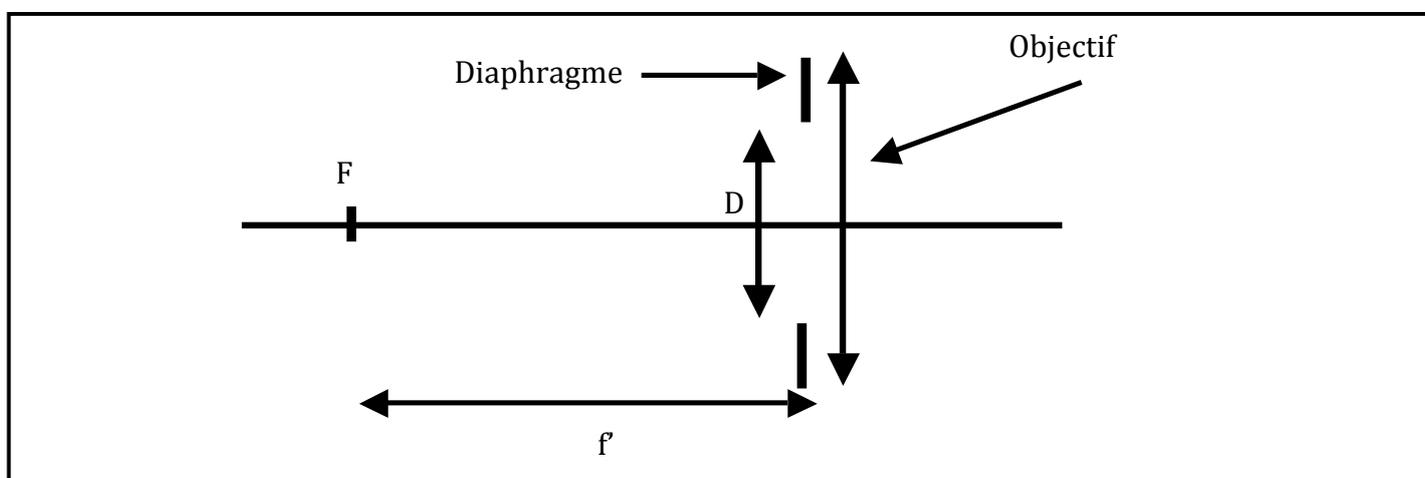
Le diaphragme est constitué de plusieurs lamelles en métal qui, ensemble, constituent une ouverture circulaire dans l'objectif. L'ouverture exprime la surface du diaphragme ; une grande ouverture correspond à un grand diaphragme qui laisse passer beaucoup de lumière, et une petite ouverture à un petit diaphragme qui en laisse passer peu.

Plus précisément, on appelle éclairement E le flux lumineux reçu par la surface sensible (le capteur) par unité de surface, exprimé en lux (ou lumen/m²) : c'est l'énergie lumineuse reçue par le capteur par unité de surface et de temps.

On démontre que l'éclairement reçu par le capteur pour un faisceau incident parallèle à l'axe optique est proportionnel au carré du quotient D/f où D est la surface du diaphragme et f la distance focale de l'objectif soit :

$$E = k \left(\frac{D}{f} \right)^2,$$

où k est un paramètre ne dépendant que de la source lumineuse et du facteur de transmission de l'objectif. On appelle ouverture relative de l'objectif la grandeur sans dimension définie par : $NO = \frac{f}{D}$



L'éclairement de la surface sensible s'écrit donc : $E = \frac{k}{NO^2}$.

Les valeurs successives de NO pré-définies sur les APN correspondent à des éclairements reçus par la surface sensible variant d'un facteur 2. Les valeurs des NO constituent une suite géométrique de raison $\sqrt{2}$.

Les valeurs d'ouverture les plus courantes sont :

NO	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32
----	-----	---	-----	---	-----	---	----	----	----	----

Sur les objectifs photographiques, c'est en réalité le diamètre du diaphragme qui est porté par des indications f/NO : $f/8$, $f/11$, etc... Par exemple, si on ferme le diaphragme d'une valeur $f/$ (par exemple de $f/2.8$ à $f/4$), on diminue de moitié la surface du diaphragme, donc d'un facteur $\sqrt{2}$ son diamètre.

Ainsi, si le photographe veut diminuer la surface du diaphragme, il doit augmenter NO ce qui est un peu troublant de prime abord...



Exemples d'ouverture, sur un objectif à focale fixe standard $f = 50$ mm

En résumé, à distance focale f constante :

- ✓ une petite valeur $f/$ (par exemple $f/2.8$) correspond à une grande ouverture (D grand) laissant entrer beaucoup de lumière, ce qui est utile pour les scènes peu lumineuses (permet d'éviter la sous-exposition) ;
- ✓ inversement, une grande valeur $f/$ (par exemple $f/11$) correspond à une petite ouverture (D petit) laissant entrer peu de lumière, ce qui est utile pour les scènes très lumineuses (permet d'éviter la sur-exposition).

Ainsi, pour qu'une photo soit bien exposée, il faut choisir une certaine combinaison vitesse/ouverture qui soit appropriée à la luminosité de la scène que l'on veut photographier. C'est le problème de l'exposition.

L'exposition

En réalité, ces deux paramètres, ouverture et temps de pose, influencent donc simultanément la qualité de l'image. On définit l'exposition H , comme le produit de l'éclairement par le temps de pose soit :

$$H = ET = k \frac{T}{NO^2} .$$

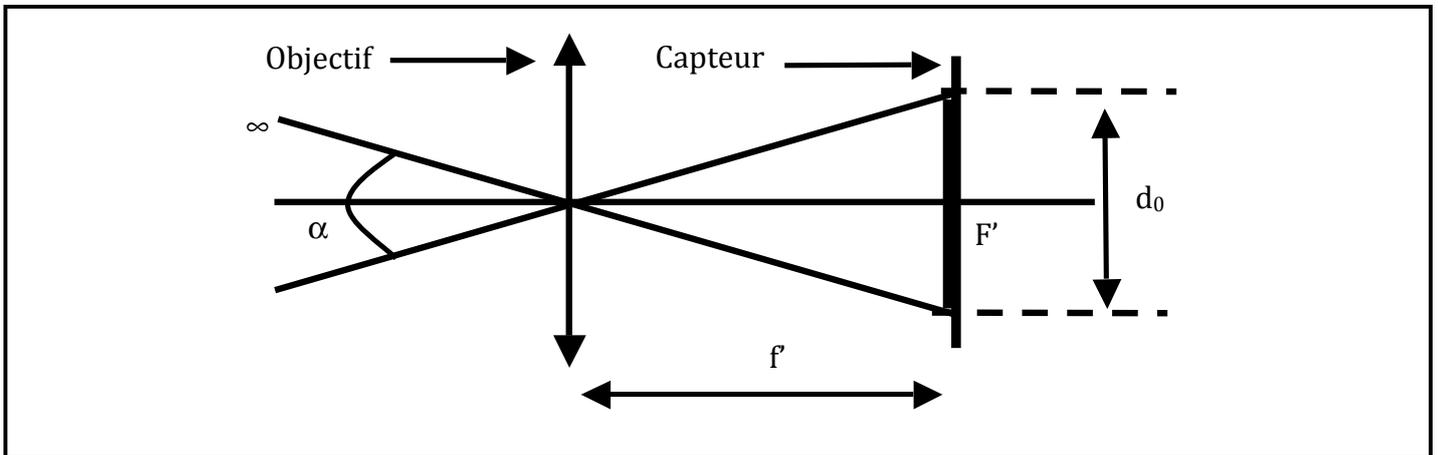
Cette grandeur représente, pour une prise de vue donnée, l'énergie lumineuse reçue par le capteur par unité de surface.

Il existe donc plusieurs combinaisons temps de pose/ouverture permettant d'obtenir une même exposition : ce sont celles qui rendent H constant, c'est-à-dire le quotient T/NO^2 constant. Il suffit pour cela d'augmenter d'un cran l'ouverture et de diminuer d'un cran le temps de pose, ou inversement ! C'est alors principalement l'esthétique de l'image qui guide le choix du photographe.

Les APN permettent de choisir quelle priorité le photographe accorde, pour une exposition idéale H déterminée par les capteurs et le processeur de l'appareil : soit le photographe accorde la priorité à l'ouverture (mode Av) c'est-à-dire qu'il la choisit ; l'appareil fixe alors le temps de pose T . Soit le photographe donne la priorité au temps de pose (mode Tv), et alors l'appareil fixe l'ouverture. Dans tous les cas, les choix correspondent tous à $H=ET$ constant.

La focale

Parmi les multiples effets de la focale de l'objectif, le principal du point de vue optique est la taille d_0 de l'image d'un sujet à l'infini, observé sous un angle donné α . Plus la focale est longue, plus l'image de l'objet sera étendue. En effet, pour α petit, on a $d_0 = \alpha f'$.



Il n'y a pas que la physique... Il y a aussi l'esthétique ! Mais la physique n'est jamais loin !

La profondeur de champ (PDC)

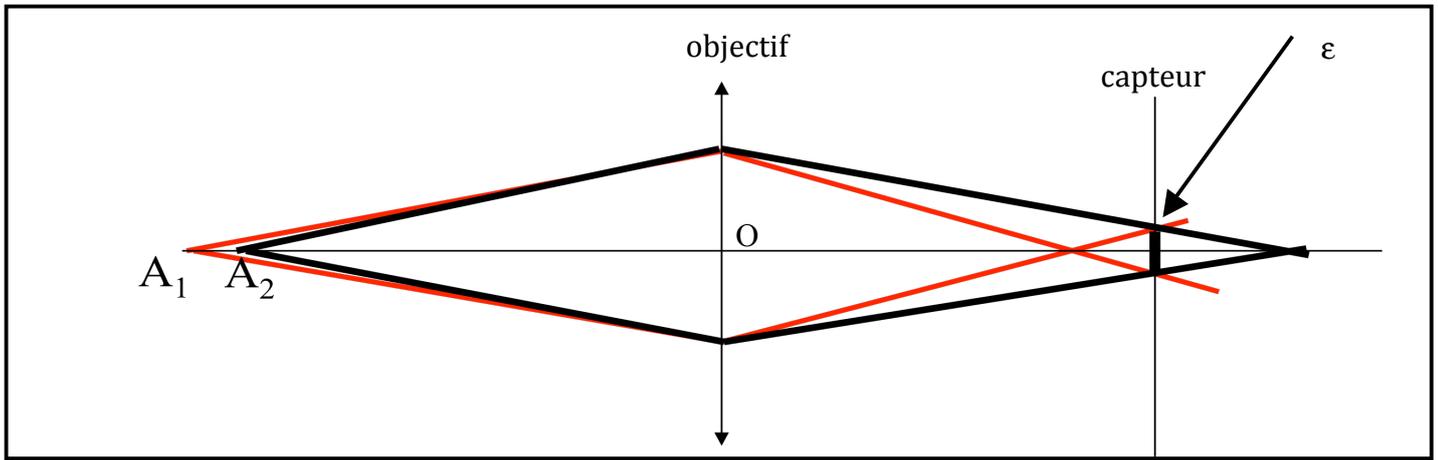
En plus de son impact sur l'exposition, l'ouverture influence également la profondeur de champ, qui correspond à la profondeur de la zone de netteté (en d'autres termes la netteté des différents plans de la photo).

Plus précisément, la PDC est la distance entre les deux points extrêmes de l'axe optique dont les images sont vues nettement sur le capteur de l'APN. La PDC est due à la structure granulaire du capteur numérique.

On appelle ϵ la dimension caractéristique d'un élément du capteur numérique ou pixel. Un faisceau issu d'un point objet A situé sur l'axe optique intersecte le plan du capteur selon une surface, dont la taille caractéristique est a . Tout point objet A sera vu net (i.e. aura une image ponctuelle à l'échelle du capteur) tant que $a < \epsilon$. Pour cette raison, la distance ϵ est appelé cercle de confusion.

La PDC est donc constituée de l'ensemble des points situés entre les points extrêmes A_1 et A_2 vérifiant cette condition.

L'image sera réussie si le point A visé par le photographe est compris entre A_1 et A_2 . Pour un même sujet A visé, la composition de l'image, c'est-à-dire son rendu esthétique, sera fortement modifiée selon l'amplitude de la PDC, c'est-à-dire la distance A_1A_2 .



On démontre alors que la PDC vérifie la relation suivante :

$$A_1A_2 = 2\epsilon d^2 \frac{NO}{f^2}$$

où d est la distance de mise au point ($d = OA$, A étant le point objet, visé par le photographe, sur lequel le point est fait) et f la focale de l'objectif.

Pour une focale donnée, une grande ouverture (par exemple $f/2.8$) donne donc lieu à une petite PDC, permettant de laisser nets uniquement les plans proches de celui où a été fait la mise au point (utile par exemple en portrait, pour rendre flou l'arrière plan). Une petite ouverture donne lieu à une grande PDC, laissant nets la plupart des plans de la photo (utile par exemple en paysage).

Pour des paramètres optiques identiques, la PDC dépend donc également du caractère granulaire du capteur (CMOS en général), ceci évoluant au fil des progrès technologiques. On donne dans le document suivant un extrait des caractéristiques techniques d'un APN plein format du commerce.

Reflex numérique [REDACTED] à viseur pentaprisme et Ecran LCD 3,2"- 8,1 cm (1 040K points); Capteur CMOS 36x24 : 22,3 Mp effectifs; Format d'image 3:2 : 5760x3840; Enregistrement Vidéo : 1080p Format MOV (H.264); Support d'enregistrement double slot : Cartes mémoire CompactFlash Type I compatible UDMA et SD/SDHC/SDXC; Rafale : 6i/s sur 16270 vues maxi en JPEG ou sur 18 vues maxi en RAW et CF UDMA; Unité intégrée auto nettoyante sur filtre passe-bas du capteur.

Capteur	CMOS
Taille du capteur (mm x mm)	36 x 24
Capteur plein format	oui
Nombre de pixels	22,3 Millions pixels

Effet de filé

La vitesse aussi a des conséquences sur le rendu ou l'esthétique de la photo, en particulier sur la netteté.

En effet, une vitesse rapide telle que $1/1000$ s. a pour conséquence de figer le sujet, de le rendre net même s'il est en mouvement. Une vitesse lente telle que 1 s. provoque du flou, si l'appareil ou le sujet est mobile.

En jouant ainsi sur la vitesse de l'obturateur de l'appareil photo, par rapport à la vitesse et aux déplacements du sujet, on peut obtenir de nombreux effets pour représenter le mouvement sur une photographie, en particulier l'effet de filé.

Champ

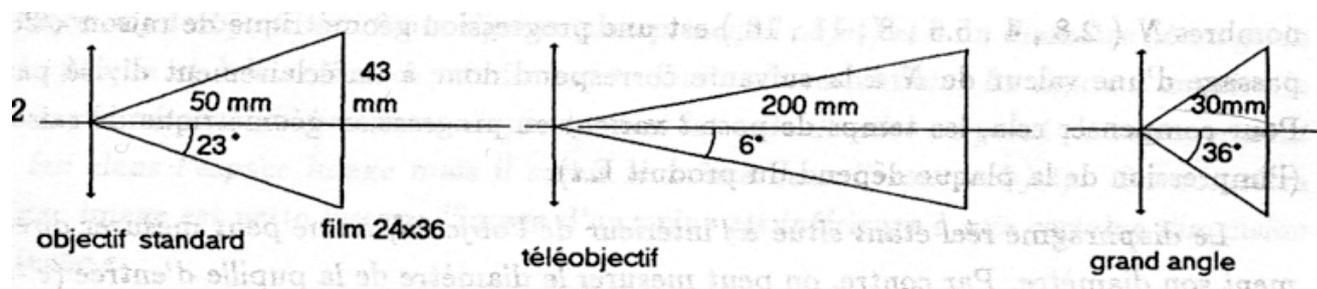
Quant à la focale, elle a bien sûr une influence sur le champ de l'image... Et donc sur sa composition, c'est-à-dire ce sur quoi le photographe désire porter l'attention !

Les capteurs dit « plein format » ont des dimensions de 24 mm X 36 mm.

On dit qu'un objectif est standard si sa focale est égale à sa diagonale à savoir $f = 44$ mm. Traditionnellement, les objectifs standard du commerce ont une focale proche, égale à $f = 50$ mm. Ces objectifs ont un champ angulaire de 23° .

Un téléobjectif possède une focale supérieure à celle de l'objectif standard. Le champ angulaire d'un téléobjectif est donc plus faible que celui de l'objectif standard : 6° pour un téléobjectif de 200 mm. Naturellement, ces objectifs auront une faible PDC : tout concourt donc à centrer l'attention sur le sujet visé.

Inversement, un grand angle a une focale inférieure à celle de l'objectif standard : le champ angulaire sera donc supérieur à celui de l'objectif standard : 36° pour une focale de 30 mm. Cet objectif permet donc d'embrasser une vue très large, et convient donc pour un paysage. Inversement, ces objectifs auront une PDC étendue : la quasi totalité du paysage pourra être nette, si le NO est convenablement choisi.



Sources :

- www.tutos-photo.com
- Wikipedia : articles ouverture

Document 3

Fiche d'exploitation

1. Montrer que la suite des NO faisant varier l'éclairement du capteur d'un facteur 2 est une suite géométrique de raison $\sqrt{2}$.
2. Calculer l'ordre de grandeur de la taille d'un pixel du capteur CMOS de l'appareil photographique dont la fiche technique est donnée dans le document.
3. Le photographe désire réaliser une image d'un paysage. Il vise une colline située à $d=100$ m avec un objectif grand angle de focale 30 mm, ouvert à $f/11$. Calculer la profondeur de champ correspondante. Qu'en conclure ?
4. Un portraitiste réalise une image d'un visage en visant le nez du sujet situé à 3 m. Il utilise un objectif de focale 100 mm ouvert à $f/2$. Calculer la profondeur de champ. Ce choix de paramètres est-il pertinent ?
5. Un photographe amateur d'astronomie réalise une image du ciel de nuit. Son appareil plein format avec objectif standard est disposé sur un pied et pointe le ciel selon la direction verticale. Un satellite sur une orbite circulaire à l'altitude $h=5000$ km passe dans le champ du capteur de l'APN.
La vitesse angulaire du satellite en mouvement circulaire est donnée par la relation $\omega = \sqrt{\frac{GM_T}{R^3}}$
où $M_T = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg est la masse de la Terre, R est le rayon de l'orbite et $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$ est la constante gravitationnelle. On donne le rayon de la Terre $R_T = 6380$ km. Calculer la durée maximale d'ouverture de l'appareil afin d'éviter un effet de filé pour le satellite.
6. L'appareil, réglé en mode manuel sur cette valeur, est au maximum d'ouverture. L'image obtenue est encore trop sombre. Quel autre paramètre, non évoqué dans le document, peut-on modifier pour améliorer l'image ?

Document 2

Les images

La vitesse



Image 1 :

Vitesse : 1/500 s

Ouverture : F/5.6

Focale : 48 mm

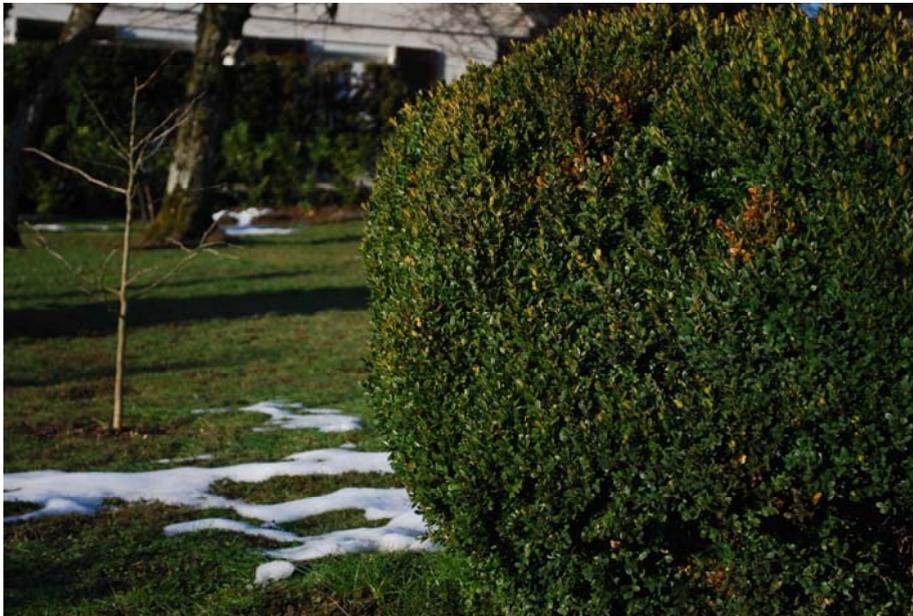


Image 2 :

Vitesse : 1/1250 s

Ouverture : F/5.6

Focale : 48 mm

La vitesse



Image 3 :

Vitesse : 1/160 s
Ouverture : F/5.6
Focale : 48mm

L'ouverture



Image 4 :

Vitesse : 1/200 s

Ouverture : F/5.6

Focale : 48 mm



Image 5 :

Vitesse : 1/200 s

Ouverture : F/10

Focale : 48 mm

L'ouverture



Image 6 :

Vitesse : 1/200 s

Ouverture : F/18

Focale : 48 mm

La focale



Image 7 :

Vitesse : 1/200 s
Ouverture : F/4.5
Focale : 18 mm

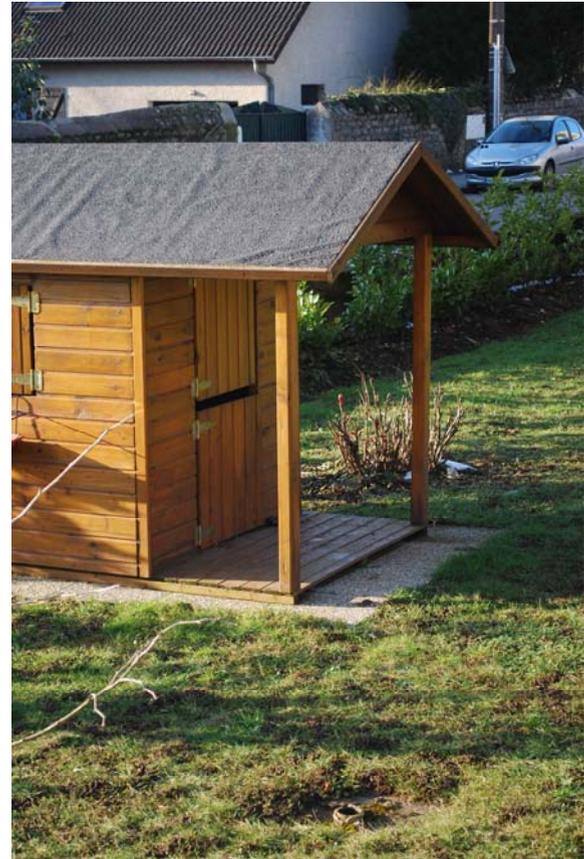


Image 8 :

Vitesse : 1/100 s
Ouverture : F/5.6
Focale : 55 mm

L'esthétique



Image 9 :

Vitesse : 1/60 s

Ouverture : F/22

Focale : 65 mm



Image 10 :

Vitesse : 1/1000 s

Ouverture : F/4.5

Focale : 92 mm

L'esthétique

Ouverture : F/2.8



Ouverture : F/16

