

OPTIQUE

M P 1 TD & TP SEMESTRE 2



B. VELAY P. LEONE
S. CAROFF P. CASARI

2013 - 2014

Sommaire

SOMMAIRE.....	2
Documentation Cours , TD et TP	3
Planning prévisionnel des TD	3
Programme de révision du DS d'optique	3
TRAVAIL PREPARATOIRE AUX TP D'OPTIQUE.....	4
Préparation	4
Manipulation et Compte-Rendu	4
Evaluation	4
TP1- Lentilles minces convergentes Etude de la formation d'une image – Focométrie.....	5
TP2- Focométrie	6
TP3- Mesure d'indice de réfraction par goniométrie - Dispersion chromatique d'un prisme de verre	7
TP4- Radiométrie.....	8
TP5- Etude du spectre d'émission d'une source pour l'éclairage	9
TP6- Liaison à fibre optique	10
Poursuite d'études en optique / optronique après MP :	11
TD OPTIQUE.....	13
1- Utilisation d'un prisme ayant un angle droit	13
2- Utilisation d'une fibre optique.....	14
3- Prisme	15
4- Miroirs plans.....	16
5- Miroirs sphériques.....	16
6- Lentilles minces.....	17
7- Appareil photo d'un « smartphone »* de faible épaisseur	17
8- Deux lentilles minces accolées.....	18
9- Deux lentilles minces séparées	18
10- Téléobjectif.....	18
11- Photométrie de LED	19
12- Photométrie d'une lampe « Mercure »	19
13- Radiométrie d'un faisceau émis par une diode laser à 670 nm	20
14- Eclairage urbain	21
15- Mesure avec une photodiode polarisée en inverse.....	21
16- Transfert de flux optimal par une lentille convergente	24
Sources des figures et des images :	24

Documentation Cours , TD et TP

La documentation est en ligne sur <http://mpsn.free.fr> y compris PPN2013 M2303

Planning prévisionnel des TD

Séance	Sujet	Exercices
1	Réflexion et réfraction	1 & 2
2	Prisme, miroirs plan	3 & 4
3	Miroirs, lentilles minces	5 & 6
4	Lentilles minces	7 & 8
5	Systèmes optiques	9 & 10,
6	Radiométrie & photométrie	11, 12 & 13
7	Radiométrie & photométrie	14, 15 & 16

Programme de révision du DS d'optique

- Connaissance et utilisation des lois de Descartes : réflexion et réfraction sur un dioptre (calcul et tracé)- indice de réfraction – réflexion totale - déviation par un prisme
- Connaître les conventions usuelles de signes pour les distances et les tailles ainsi que les conditions de Gauss.
- Utilisation d'un miroir plan ou sphérique (calcul par relation de conjugaison et grandissement, tracés)
- Utilisation d'une lentille mince convergente ou divergente en conditions de Gauss (calcul par relation de conjugaison et grandissement, tracés), grandissements transversal et angulaire, focale d'un ensemble de lentilles minces accolées
- Système optique simple centré, image intermédiaire (par calcul et/ou tracé),
- Flux de lumière : flux réfléchi et transmis par un dioptre, flux absorbé et loi de Beer.
- Grandeurs énergétiques et unités radiométriques : Flux en W , intensité en $W \cdot sr^{-1}$, éclairement en $W \cdot m^{-2}$.
- Grandeurs lumineuses et unités photométriques : Flux en lm, intensité en cd , éclairement en lx.
- Usage simple d'un angle solide en sr ; relation flux – intensité uniforme
- Application simple de la loi de Bouguer pour une source ponctuelle.
- Sensibilité d'un détecteur, utilisation d'une courbe de sensibilité spectrale
- Flux photonique monochromatique (constantes h et c)

Document autorisé : 1 feuille A4 recto manuscrite (pas de photocopie !)

Matériels autorisés et probablement nécessaires : calculatrice autorisée (et son mode d'emploi), règle, équerre, rapporteur d'angle...

Travail préparatoire aux TP d'optique

Préparation

La Préparation des Travaux Pratiques se fait **avant** le TP.

Elle ne se fait pas pendant le TP proprement dit, sous peine de ne plus avoir assez de temps pour manipuler et demander des explications à votre enseignant.

Consulter le texte et les Annexes des textes de TP, en reprenant les notions concernées avec votre cours et vos TD dont certaines sont précisées en début de TP.

Faire les simulations demandées et précisées sur chacune des fiches suivantes

Manipulation et Compte-Rendu

Convention typographiques des textes :

- Texte normal : normal = descriptions et explications
- Texte en gras : **gras** = définitions de points importants
- Texte en italique : *italique* = travail ou calcul à réaliser

De plus les différentes étapes successives d'une *liste de tâches* sont identifiées par un -

Les manipulations décrites seront réalisées pendant le TP et font l'objet d'un **compte-rendu** regroupant le descriptif du montage, les mesures et les enregistrements, réalisés et analysés, ainsi que vos commentaires et remarques. Un compte-rendu par binôme est remis **en fin de chaque séance**.

Vous ferez preuve de rigueur, de précision mais aussi de concision et d'esprit de synthèse. Vous noterez qu'**il n'est pas nécessaire de recopier ou de paraphraser le polycopié de TP !**

Evaluation

La note de Travaux Pratiques pour ce cycle est obtenue de la façon suivante :

- le partiel de Travaux Pratiques compte pour 70% de la note.
- le travail effectué pendant les séances compte pour 30% de la note au titre du contrôle continu.

Il sera particulièrement tenu compte des comptes-rendus de mesure (en particulier en ce qui concerne la qualité des graphiques, de leur interprétation ainsi que des conclusions que vous en tirerez).

TP1- Lentilles minces convergentes

Etude de la formation d'une image – Focométrie

Sujet

Etudier la formation d'une image à l'aide d'une lentille convergente. En mesurer la distance focale.

Objectifs

- Visualiser en 3D le faisceau de rayons lumineux lors de la formation d'une image
- Approche expérimentale et par simulation
- Apprentissage de méthodes de mesure de distance focale
- Analyse critique de méthodes de mesures sur la base du nombre d'actions à réaliser et de la facilité des réglages

Consignes et sécurité

- **En début de TP** : exécuter l'utilitaire par son icône « **Au début du TP** » afin de rafraîchir le répertoire « **Travail_S2** » accessible par l'icône sur le bureau. Ce dossier contient le texte complet du TP en couleur, ses annexes et les logiciels de simulation.
- **Le matériel optique ne DOIT jamais tomber !**
- **Eteindre la lampe en fin de TP**

Plan du TP

- 1- Faisceau lumineux lors de la formation d'une image p 2
- 2- Méthodes par relation de conjugaison p 4
- 3- Méthode de Bessel p 6
- 4- Conclusion : analyse critique p 7

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

A1- Liste du matériel utilisé p 8

A2- Simulation par traçage des rayons de lumière en 3D avec Optics-lab p 9

TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes dont A2, le logiciel et les applets de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP.
- Réaliser **avant le TP**, l'expérience virtuelle décrite §1.1- . Il n'y a pas de temps pour cela pendant le TP.
- Lire et apprendre les éléments théoriques du § 1.2
- Réaliser **avant le TP**, l'expérience virtuelle décrite §1.3- . Il n'y a pas de temps pour cela pendant le TP.
- Lire la justification §3.2- .
Vous l'étudierez en détail dès que le cours / TD correspondant sera fait.

TP2- Focométrie

Sujet

Mesurer la distance focale de lentilles convergente ou divergente par une méthode avec lunette de visée.

Objectifs

- Utilisation de lunette de visée (procédure de réglage des lunettes, pointé)
- Approches comparées : expérimentale et par simulation
- Maîtrise de l'usage des lentilles minces

Consignes et sécurité

- **En début de TP** : exécuter l'utilitaire par son icône « **Au début du TP** » afin de rafraîchir le répertoire « **Travail_S2** » accessible par l'icône sur le bureau. Ce dossier contient le texte complet du TP en couleur, ses annexes et les logiciels de simulation.
- **Le matériel optique ne DOIT jamais tomber !**
- **Eteindre la lampe en fin de TP**

Plan du TP

- 1- Focométrie par autocollimation p 2
- 2- Focométrie par visée p 3

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

A1- Liste du matériel utilisé p 6

A2- Lunette de visée p 7

A3- Obtenir un faisceau de lumières parallèles p 8

A4- Modélisation et notations pour une lentille mince (cf. TP1) p 9

TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP.
- Relire en particulier l'Annexe 4 « Modélisation et notation » (relation de conjugaison, signes, conventions...).
- Expérimenter avec les applets décrites au §1.1 et §2.1

TP3- Mesure d'indice de réfraction par goniométrie - Dispersion chromatique d'un prisme de verre

Sujet

Etudier l'indice de réfraction $n(\lambda)$ d'un verre selon la couleur de la lumière en mesurant par goniométrie la déviation d'un faisceau lumineux due à un prisme de ce verre.

Objectifs

- Savoir utiliser un prisme et gérer l'angle d'incidence ainsi que la déviation
- Savoir régler un goniomètre en plusieurs étapes (collimateur, lunette, horizontalité du plateau)
- Savoir régler une déviation minimale et en déduire la valeur de l'indice.
- Déterminer le modèle numérique d'un verre sous la forme $n(\lambda) = A + B / \lambda^2$
- Comprendre le caractère dispersif d'un prisme

Consignes et sécurité

- **Le prisme ne DOIT jamais tomber !**
- **La lampe spectrale reste allumée pendant toute la durée des phases de réglages et de mesures**

Plan du TP

- 1- Principe de l'expérience p 2
- 2- Principe, description et réglages du goniomètre p 3
- 3- Mesures d'indice pour un prisme de verre p 4
- 4- Etude d'un modèle numérique de la dispersion de ce verre p 6

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

A1- Liste du matériel utilisé p 7

A2- Procédures de réglage du goniomètre p 8

TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP, en particulier les §1- et §2- .
- Réaliser **avant le TP** l'expérience virtuelle du TP décrite au §1.2-

TP4- Radiométrie

Sujet

Initiation à la radiométrie : expérimenter la loi de Bouguer et l'atténuation d'un flux de lumière par des filtres adsorbants à densité neutre. Application à la caractérisation de détecteurs de lumière.

Objectifs

- Utilisation d'un radiomètre
- Utilisation de filtres absorbants de densités neutres
- Unités radiométriques simples
- Traitement de données (graphique, tableur) pour valider un modèle théorique

Consignes et sécurité

- **Le matériel optique ne DOIT jamais tomber !**
- **Attention à la sonde de mesure du radiomètre.**
- **En fin de TP**, penser à arrêter **TOUS** les appareils.

Plan du TP

- 1- Etude radiométrique d'une source de lumière « ponctuelle » p 2
- 2- Atténuation d'un flux de lumière par des filtres p 3
- 3- Etude d'une photodiode BPW34 utilisée polarisée en inverse p 5
- 4- Etude d'un photorésistor LDR VT935G p 7

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

- A1- Liste du matériel utilisé p 9
- A2- Caractéristiques des filtres absorbant à densité neutre Edmund p 10
- A3- Caractéristique du Radiomètre Delta-Ohm HD2302 p 11
- A4- Caractéristique de la photorésistance LDR VT935G p 17
- A5- Caractéristiques d'un module Laser C2025 vert : 532 nm p 18
- A6- Caractéristiques d'une photodiode BPW34 p 19

TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP.
- Revoir le Cours associé

TP5- Etude du spectre d'émission d'une source pour l'éclairage

Sujet

Utiliser un monochromateur et un radiomètre/luxmètre pour étudier la distribution spectrale en émission d'une LED blanche d'éclairage.

Objectifs

- Mesures d'éclairement énergétique en $W.m^{-2}$ et d'éclairement lumineux en lux.
- Comprendre la spécificité de la vision humaine (sensibilité spectrale comparée œil – radiomètre – luxmètre).
- Savoir utiliser un système optique complexe : le monochromateur.
- Récupérer, traiter et analyser des données par informatique.
- Comprendre l'influence de la distribution spectrale d'une source de lumière.

Consignes et sécurité

- **Le matériel optique ne DOIT jamais tomber !**
Penser à serrer les vis des cavaliers sur le banc optique.
- **En fin de TP**, penser à arrêter **TOUS** les appareils, y compris le « luxmètre ».

Plan du TP

- 1- Utiliser un monochromateur p 2
- 2- Réponse du radiomètre au rayonnement de la LED en fonction de λ p 4
- 3- Réponse du luxmètre au rayonnement de la LED en fonction de λ p 7
- 4- Analyse métrologique p 8
- 5- Maquette d'un monochromateur p 9

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

- A1- Liste du matériel utilisé p 9
- A2- Utilisation du luxmètre HD2102-2 et du logiciel Delta-Log9 p 10
- A3- Caractéristiques des sondes radiométrique et photométrique LP741 p 13
- A4- Caractérisation de la vision de l'œil standard CIE p 15
- A5- Caractéristiques d'un module LASER vert à 532 nm oVio-optics p 16
- A6- Luminance spectrique d'une lampe à incandescence à halogène p 17

0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP, tout particulièrement les paragraphes §1.1 et §2.5
- Si vous en avez, revoir vos notes de Cours de lycée sur le **réseau optique**.

TP6- Liaison à fibre optique

Sujet

Etudier expérimentalement quelques propriétés des composants d'une chaîne de transmission à fibre optique plastique :

Vérifier la linéarité en émission d'une LED, mesurer des temps de montée d'une chaîne de transmission à fibre, mesurer le spectre d'émission d'une LED, comparer l'atténuation d'une fibre optique selon la couleur etc.

Objectifs

- Réaliser des expériences en maîtrisant ses paramètres (ici I et f)
- Mesurer des temps de montée d'un système opto-électronique.
- Utiliser et exploiter un spectromètre et un radiomètre..
- Maîtriser les fonctions avancées d'un oscilloscope numérique (mesures, curseur, correction par moyenne, utilisation des mémoires, export...).
- Exploiter des mesures complexes en faisant des corrections justifiées.
- Utiliser des données numériques spécifiées par le constructeur d'un composant.

Consignes et sécurité

- ATTENTION aux FIBRES OPTIQUES : consignes §1.3
- **Eteindre tous les appareils en fin de TP**

Plan du TP

- 1- Description de la liaison à fibre optique utilisée p 2
- 2- Etude de la linéarité d'une LED en émission p 3
- 3- Etude dynamique de la liaison : mesure de temps de montée p 4
- 4- Etude du spectre d'émission de la LED rouge p 6
- 5- Comparaison de l'atténuation par une fibre R / IR p 8

Annexes :

Version en couleur accessible dans « E:\MesDocs »

A1- Liste du matériel utilisé p 12

A2- Oscilloscope Tektronix : mise en mémoire, capture d'écran sur clé USB p 13

A3- Acquérir un spectre avec le logiciel BWSpec p 16

A4- Résultat d'étalonnage du spectromètre BRC-112E p 17

A5- Radiomètre Delta-Ohm DO9721 p 18

A6- Photos p 20

0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par <http://mpsn.free.fr>

- Lire attentivement le texte de TP p1-11.
- Revoir les définitions du TD3 du module « Capteur S1 »

Poursuite d'études en optique / optronique après MP :

Cette liste n'est pas exhaustive.

Vérifier sur les sites les conditions d'entrée sur titre, les possibilités d'apprentissage ou d'alternance.

Consulter aussi le site de la Société Française d'Optique SFO qui recense les formations : <http://www.sfoptique.org/index.php?action=formation#>

Ecoles d'INGENIEUR

Voir le portail <http://www.archimede-groupe.org/archimede/>



ENSSAT Lannion Université de Rennes
École Nationale Supérieure des Sciences Appliquées et de Technologie 6 rue de Kerampont BP 80518 - 22305 Lannion Cedex Téléphone : +33 (0)2.96.46.90.00
<http://www.enssat.fr/secretariat.concours@enssat.fr>
ingénieur spécialité OPT



Institut d'Optique Graduate School
<http://www.institutoptique.fr>
Campus Polytechnique RD 128 91127 PALAISEAU cedex Téléphone : 01 64 53 31 00
Concours sur titre, apprentissage



ENSIM - Université du Maine
rue Aristote - 72085 Le Mans CEDEX 09
Téléphone : 02 43 83 35 93 Télécopie : 02 43 83 37 94
<http://ensim.univ-lemans.fr/scolarite.ensim@univ-lemans.fr>
option MicroCapteurs et Mesures Optiques MCMO en 1^{ière} année et Techniques Optiques pour l'Industrie TOI en 3^{ème} année



IFIPS Université Paris-Sud11
Maison de l'Ingénieur, bât 620 Plateau de Moulon Université Paris-Sud11 91 405 Orsay cedex tél : 01 69 33 86 00 <http://www.polytech.u-psud.fr>, en particulier : http://www.polytech.u-psud.fr/fr/polytech_paris_sud/specialites/optronique.html
Ingénieur en optronique, alternance



Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans
8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex 2 /
Tél. +33 (0) 2 38 41 70 50 Ingénieur spécialité électronique-optique <http://www.univ-orleans.fr/polytech/>

Licence PRO

<http://www.licences-pro.fr>

nom de domaines pas toujours évident...



Licence Pro « Couches minces et applications »

IUT d'ORSAY Plateau du Moulon – 91400 Orsay
Mesures Physiques, 01 69 33 60 66

mphy-lpcma@iut-orsay.fr

[http://www.iut-orsay.u-](http://www.iut-orsay.u-psud.fr/fr/formations/licences_professionnelles/mphy_lp_matfm.html)

[psud.fr/fr/formations/licences_professionnelles/mphy_lp_matfm.html](http://www.iut-orsay.u-psud.fr/fr/formations/licences_professionnelles/mphy_lp_matfm.html)



Licence Pro « Contrôle et Mesure de la Lumière et de la Couleur »

Université de Montpellier2

Contact : Mr Frédéric Geniet : Tel : 04 67 14 46 92

frederic.geniet@univ-montp2.fr

http://www.univ-montp2.fr/images/fichiers_site/CASSIOPEE/Livret-MIPS_12-13.pdf p23

[http://w3b.info-ufr.univ-](http://w3b.info-ufr.univ-montp2.fr/siufr/run?method=w2display&uid=fd9f684e61a3e744bdcc2fb39060a7435f5e1824015990356718e6068410a0aa2e19b2934ba420bd)

[montp2.fr/siufr/run?method=w2display&uid=fd9f684e61a3e744bdcc2fb39060a7435f5e1824015990356718e6068410a0aa2e19b2934ba420bd](http://w3b.info-ufr.univ-montp2.fr/siufr/run?method=w2display&uid=fd9f684e61a3e744bdcc2fb39060a7435f5e1824015990356718e6068410a0aa2e19b2934ba420bd) ...



Licence Professionnelle Instrumentation Optique et Visualisation (IOVIS)

Université Pierre et Marie Curie Paris6

CFA UPMC 4, place Jussieu (casier 232) Bâtiments Esclançon /
Atrium 75252 Paris - Cedex 05 01 44 27 71 40

Contact : Julien Laurat laurat@spectro.jussieu.fr

<http://www.cfa.upmc.fr>

http://www.cfa.upmc.fr/cfa_upmc/detail/Fiche_formation?item_id=45084644

http://www.upmc.fr/fr/formations/diplomes/sciences_et_technologies/2/licences_professionnelles2/lp_electricite_et_electronique_instrumentation_optique_visualisation.html

Documents avec liens actifs disponibles sur le site <http://mpsn.free.fr/>

TD Optique

Pré-requis : indice d'un milieu, géométrie et lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction, condition de réflexion totale.

1- Utilisation d'un prisme ayant un angle droit

d'après DS1 2011

1.1- Soit un dioptre séparant deux milieux transparents d'indice n et n' . Un rayon incident arrive du côté n avec un angle d'incidence i par rapport à la normale au dioptre. Retrouver les conditions de réflexion totale du rayon incident sur ce dioptre. Calculer l'angle limite d'incidence dans le cas de l'air et d'un verre d'indice 1.5 .

1.2- Un petit prisme de verre d'indice 1.5, isocèle et d'angle au sommet 45° est schématisé en coupe. Représenter sur la figure le trajet d'un faisceau d'incidence normal à la face d'entrée (la face d'entrée est la face verticale sur la figure, celle où arrive le rayon normal initial qui est tracé). Justifier brièvement.

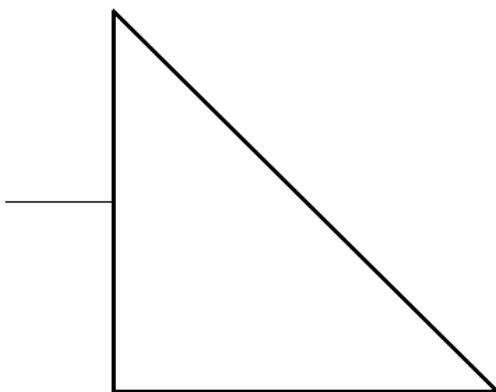
1.3- Calculer les coefficients de réflexion et de transmission énergétique R et T pour un dioptre air-verre.

1.4- On se limite dans cette question aux faisceaux principaux transportant un flux d'au moins 1% du flux initial. On néglige la faible atténuation due à l'absorption dans le verre.

En incidence normale, quel faisceau de sortie est-il le plus lumineux (il sera qualifié d'« utile » par la suite) ? Indiquer alors sur la figure quelle est la face de sortie du faisceau « utile » (appelée par la suite « face de sortie »). Préciser le rôle du prisme.

Evaluer le flux du faisceau « utile » pour un flux initial incident de 0.03 W.

1.5- Le faisceau incident reste encore dans le plan de figure mais fait un angle de 10° avec la normale à la face d'entrée. Parmi les deux cas possibles, représenter sur la figure mais avec une autre couleur, le trajet des rayons **uniquement pour le cas** où il y a réflexion totale sur la face oblique. En raisonnant par symétrie, quel est alors l'angle entre le faisceau de sortie « utile » et la normale à la face de sortie ?



Exo 1 : prisme vu en coupe



Exo 2 : fibre optique à saut d'indice

2- Utilisation d'une fibre optique

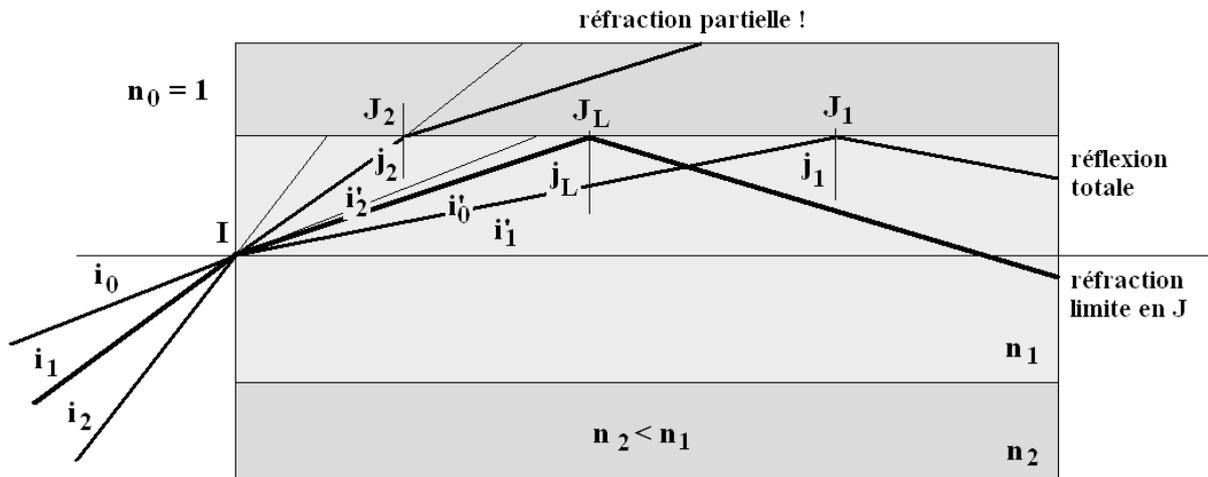
Question 2.5 – 2.8 d'après DS2012.

Une fibre optique plastique à saut d'indice est composée d'un cœur cylindrique d'indice $n_1 = 1,50$ entouré d'une gaine optique d'indice $n_2 = 1,45$.

Une couche de protection opaque recouvre la fibre optique proprement dite.

L'ouverture numérique (NA = Numerical Aperture) de la fibre est $NA = \sin(i_0)$, où i_0 est l'angle d'incidence correspondant à la réfraction limite en J.

Les angles i et i' sont comptés par rapport à l'axe de la fibre optique. Les angles j sont comptés par rapport à la normale tracée.



2.1- Exprimer l'angle limite j_L en fonction des indices de la fibre. Calculer j_L pour $n_0 = 1$ (air)

2.2- En déduire que $NA = \sin(i_0) = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ Calculer NA et i_0 pour $n_0 = 1$

2.3- Etudier la propagation de 2 rayons particuliers pénétrant dans la fibre au point I et dont les incidences seront $i_1 = 20^\circ$ et $i_2 = 30^\circ$. Dans quel cas aura-t-on propagation sans pertes dans la fibre ? Justifier la réponse en montrant comment se propagent les rayons lumineux.

2.4- Représenter le cône d'acceptance, vu de la face d'entrée, dans lequel doivent se présenter les rayons incidents utiles. L'ouverture de ce cône est aussi mesurée par son angle solide $\Omega_a = 2\pi(1 - \cos i_0)$ en stéradian (symbole : sr).

Exprimer l'ouverture de ce cône comme une fraction de celui correspondant au demi-espace devant la fibre (angle solide $\Omega_{1/2 \text{ espace}} = 2\pi = 6.28 \text{ sr}$).

2.5- Pour un flux d'entrée F_e , exprimer le flux restant F_L après un trajet de longueur L dans l'hypothèse d'un matériau parfaitement transparent.

2.6- La fibre optique a une longueur $L = 10 \text{ m}$. Son plastique PMMA a une atténuation linéique $A_{dB} = 150 \text{ dB.km}^{-1}$ dans le rouge. Retrouver la relation entre A_{dB} et l'absorbance αL de la loi de Beer. En déduire l'atténuation de la fibre $A(L)$ et $A_{dB}(L)$.

2.7- Calculer le flux énergétique sortant à l'autre extrémité de la fibre réelle pour un faisceau d'entrée sous incidence normale ; on utilise un laser rouge $P = 3 \text{ mW}$.

2.8- Même question pour un angle d'incidence i_0 . Préciser alors l'angle de sortie du faisceau.

2.9- Même question pour un faisceau incident intérieur au cône d'acceptance.

Pré-requis : équation du prisme, déviation, déviation minimale

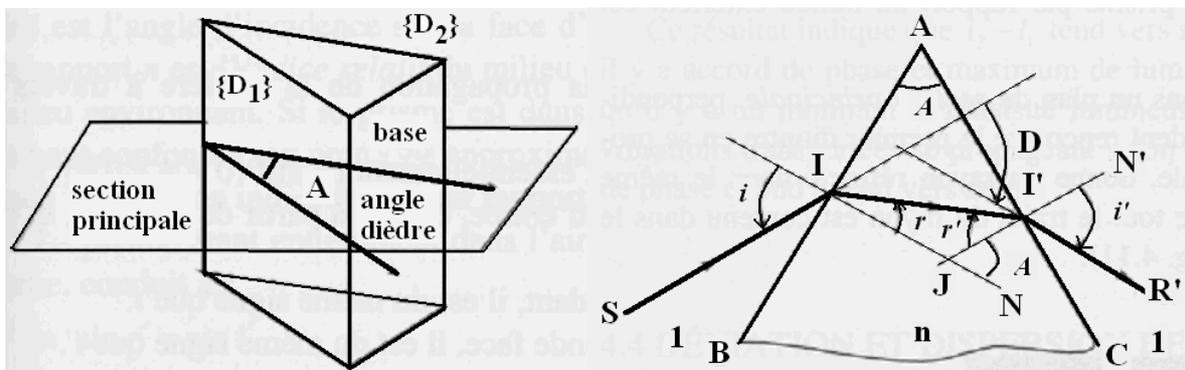
3- Prisme

3.1- L'indice de réfraction du verre d'un prisme est calculable par son modèle de Cauchy $n = A + B/\lambda^2$ où λ est pris en nm, $A = 1,5909$ et $B = 9731,0 \text{ nm}^2$.

Calculer les indices n_C et n_F correspondant à deux raies d'émission d'une lampe spectrale « Hydrogène » dont les longueurs d'onde sont $\lambda_C = 656,3 \text{ nm}$ et $\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$.

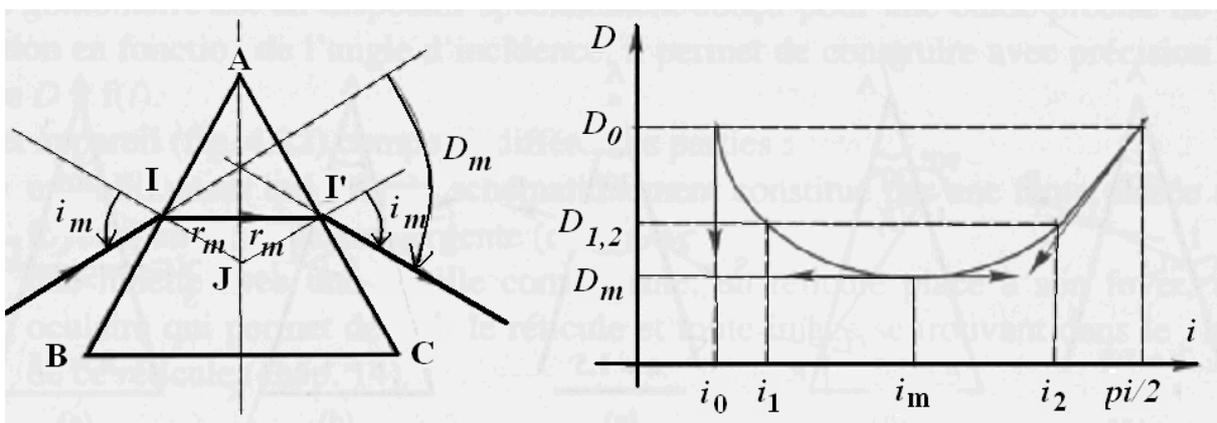
3.2- Ecrire les quatre équations du prisme exprimant les lois de Descartes, la somme des angles d'un triangle et la déviation. En déduire les expressions simplifiées de l'angle au sommet A et de la déviation D.

3.3- Un prisme d'angle au sommet $A = 59,95^\circ$ est éclairé par un faisceau parallèle sous incidence $i = 50,00^\circ$, calculer la déviation D pour ces deux raies rouge et bleue. Commenter.



3.4- Retrouver les expressions de la déviation minimale en fonction de l'indice n sachant que dans cette configuration le tracé des rayons est symétrique. Soit $D_m = f(n)$ et $n = g(D_m)$.

Calculer le minimum de déviation pour les deux longueurs d'onde λ_C et λ_F .



Pré-requis : objet, image ; réel, virtuel ; astigmatisme approché, formule de conjugaison et distance focale d'un miroir sphérique.

4- Miroirs plans

4.1- Montrer qu'un miroir, constitué d'une glace d'épaisseur 12 mm et d'indice 1.5 argentée sur sa face arrière puis masquée par du tain opaque, se comporte comme un miroir plan idéal dont la surface métallique réfléchissante serait avancée de 4 mm devant la couche d'argent.

4.2- Une personne de hauteur 1,80 m se regarde dans un miroir plan. Les yeux sont à 10 cm du sommet de la tête. Quelles doivent être la dimension minimale du miroir et sa distance au sol pour que l'observateur se voie tout entier ? Pour ce réglage, qu'en est-il pour un enfant de 1.20 m ?

5- Miroirs sphériques

5.1- Une personne est située à 5 m d'un miroir sphérique concave de rayon $R = 1$ m. Caractériser l'image qu'elle voit d'elle-même.

5.2- Même question pour un miroir sphérique convexe similaire.

5.3- Commenter les deux photos ainsi que les miroirs mis en œuvre (le diamètre des miroirs est de 30 cm, la taille du photographe est de 1.80 m).



Pré-requis : objet, image ; réel, virtuel ; astigmatisme approché, formule de conjugaison et distance focale d'une lentille mince.

6- Lentilles minces

6.1- Un objet réel de hauteur 2 cm est placé dans un plan de front à 60 cm d'une lentille convergente de distance focale 40 cm. Déterminer complètement l'image. Représenter le faisceau en perspective. Recommencer en le plaçant à 20 cm seulement.

6.2- Comment faut-il placer un objet par rapport à une lentille convergente pour que l'image soit droite et de longueur double de celle de l'objet. Même question pour obtenir une image renversée.

6.3- Quel est le diamètre de l'image de la lune que donne une lentille convergente de 1 m de distance focale (diamètre apparent de la lune 33').

6.4- Un objet de longueur 5 cm est placé à 4 m d'une lentille divergente de distance focale 60 cm. Déterminer l'image.

7- Appareil photo d'un « smartphone »* de faible épaisseur

HTC One est un photophone* fin (épaisseur < 8 mm) disposant d'un excellent appareil photo intégré (le meilleur de sa catégorie, incluant iPhone 5 et Samsung S3).

Sa notice technique indique en particulier :

- Sensor CMOS 1/3''
- 4 MP - 2688x1520 - ratio 16/9
- pixel 2 μ m
- longueur focale 3.82 mm
- ouverture F# 2.0
- correction OIS 2-axis +/- 1 degré



7.1- Calculer la diagonale d de la zone sensible du capteur. Commenter.

7.2- Calculer le diamètre d'ouverture D de la lentille de l'appareil photo sachant que le nombre d'ouverture d'un objectif optique est $F\# = N = f' / D$

7.3- Calculer l'angle de champ et l'angle solide du cône contenant tous les rayons lumineux servant à former l'image reçue par le capteur. Montrer que l'objectif du smartphone est de type « Grand angle » (équivalent à l'objectif « 28 mm » d'un appareil reflex 24x36).

7.4- Le capteur d'image est a priori situé près du plan focal image de la lentille. Déterminer la position y' du capteur, un peu en arrière de F' , telle que le faisceau issu d'un objet réel situé à l'infini fasse sur le capteur une tache dont le diamètre est la résolution du capteur, c'est à dire la taille p d'un pixel.

7.5- Déterminer alors la distance hyperfocale x^* en deçà de laquelle l'image est floue ; préciser la zone de l'espace vue « nette » sur la photo (le champ optique). Commenter.

7.6- Selon vous, comment est réalisée une lentille de photophone de dernière génération ?

Aide :

- un objet réel A situé à la **distance hyperfocale** a son image conjuguée A' située un peu en arrière du capteur de sorte que le faisceau fasse dans le plan du capteur une tache dont le diamètre est la résolution du capteur,
- faire une figure et utiliser le théorème de Thalès,
- constater que $z = p N / f' \ll 1$
- utiliser le développement limité $(1 + z)^n \approx 1 + nz$ au premier ordre, valable pour $z \ll 1$ et n entier relatif.

Notes : * le terme français « photophone » commence à se populariser...
<http://www.varioptic.com/technology/electrowetting/>

8- Deux lentilles minces accolées

Pour déterminer la distance focale f'_1 d'une lentille divergente, on accole à cette lentille une lentille convergente de 4 dioptries et l'on forme, avec ce système de lentilles, l'image réelle d'un objet. Lorsque l'image est de même taille que l'objet, la distance objet image est égale à 3 m. Calculer f'_1 . L'ordre des lentilles importe-t-il ?

9- Deux lentilles minces séparées

Un objet $A_1B_1 = 2$ cm est situé à 1 m en avant d'une lentille mince de focale $f'_1 = 0.20$ m. On place une seconde lentille de vergence 10δ à $d = 30$ cm en arrière de la première.

- 9.1- Construire la position de l'image intermédiaire A_i puis la calculer. Caractériser l'image intermédiaire. Comment est utilisée cette première lentille ?
- 9.2- Caractériser l'objet de la seconde lentille. Construire la position de l'image finale A'_2 , puis la calculer. Caractériser cette image. Comment est utilisée cette seconde lentille ?
- 9.3- Calculer le grandissement angulaire global.
- 9.4- Calculer la position de l'image finale rapportée à la lentille de front. L'image finale est-elle réelle ou virtuelle ?

10- Téléobjectif

On constitue un « téléobjectif », c'est-à-dire un objectif pour photographier des objets très éloignés, en associant un ensemble équivalent à une lentille mince convergente L_1 de distance focale $f'_1 = 200$ mm à une seconde lentille mince L_2 de distance focale f'_2 que l'on place en arrière à une distance $d = 170$ mm. Le capteur d'image C est placée à une distance $D = 245$ mm en arrière de la première lentille dans le plan focal image du téléobjectif.

- 10.1- Où se situe l'image intermédiaire formée par la lentille de front ? du point de vue de L_1 , l'image A_i est-elle réelle ou virtuelle ?
- 10.2- Du point de vue de la lentille L_2 , où est située l'image finale A'_2 ? Est-elle réelle ou virtuelle ? Où est situé l'objet intermédiaire ? Est-il réel ou virtuel ?
- 10.3- Caractériser la lentille L_2 .
- 10.4- Tracer une figure correspondant à la situation décrite. Déterminer graphiquement puis par le calcul, la distance focale équivalente f' du téléobjectif. Calculer la compacité f'/D
- 10.5- Quelle est la dimension de l'image formée par ce téléobjectif sur le capteur lorsqu'on photographie un objet très éloigné vu sous un angle de 1° .

Pré-requis : définitions du flux F , de l'éclairement E , de l'intensité lumineuse I et de la luminance L et de l'angle solide Ω ; $\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) \approx \pi\alpha^2$ si α petit ; unités radiométriques et photométriques ; théorème de Bouguer pour une source ponctuelle. Courbe de sensibilité spectrale d'un détecteur (œil, etc.)

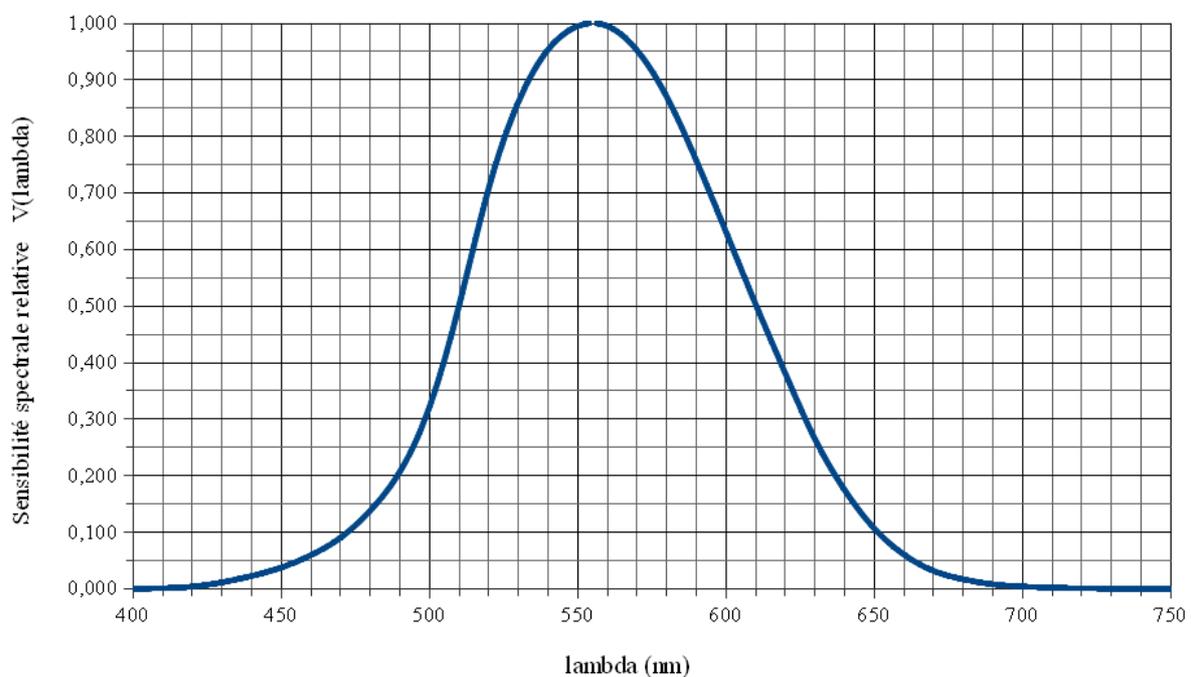
11- Photométrie de LED

11.1- Une sonde de radiomètre éclairée par une LED reçoit un flux de 5 mW sur une surface de 1 cm². Prévoir la valeur d'éclairement énergétique moyen mesuré.

11.2- Quel est l'éclairement lumineux moyen correspondant si la source est une led verte ($\lambda \approx 550$ nm), une led rouge ($\lambda \approx 650$ nm), une led de télécommande TV ($\lambda \approx 950$ nm), une led blanche d'éclairage.

Sensibilité spectrale relative en vision de jour

Efficacité lumineuse 683 lm/W maximale à 555 nm



12- Photométrie d'une lampe « Mercure »

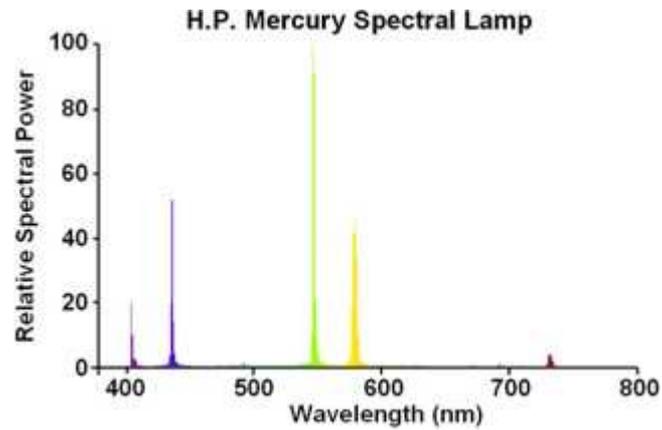
Le faisceau d'une lampe spectrale « Mercure » est « nettoyé » par un filtre ne laissant passer que les raies verte et orangée (546 nm et 578 nm). On mesure au luxmètre un flux lumineux global $F_1 = 3000$ lumens.

Le spectre énergétique du rayonnement est relevé avec un spectromètre. On constate un niveau double pour la raie verte vis à vis du doublet orangé : il y a donc 67% de vert pour 33% d'orangé.

12.1- Calculer le flux énergétique total du faisceau de sortie.

12.2- Calculer le flux photonique total correspondant.

Constante de Planck $h = ?$ Vitesse de la lumière $c = ?$



la valeur pour la raie verte est la double de celle pour la raie orangée (doublet)
source : Philips Lighting - No. 93136E

13- Radiométrie d'un faisceau émis par une diode laser à 670 nm

Collimateur IMK-0714-E-K-DL3149-057

IMM-Art.Nr. 110000316 Conrad Art.-Nr.:187514 IMK10A-4-670/3,5

Toutes les données pour Tc=25°C	Min.	Typ.	Max.
Longueur d'onde (nm)	660.	670	678
Courant de seuil (mA)	n. a.	25	35
Courant de service (mA)	n. a.	40	45
Tension de service (V)	n. a.	2,3	2,6
Courant de diode moniteur (mA)	0,5	1,5	2
Puissance optique (mW)		3,5	4,2
Température de service °C	-10		80
Température de stockage °C	-25		85
Section de faisceau ca.	4x2mm ²	Divergence de faisceau	<=0,5mrad
Déviation de faisceau	typ. 10 mrad	Type de lentille	Matière plastique
Classe de protection laser	3R bei max. Popt	Boîtier	Aluminium couleur naturelle
Diamètre (mm)	7	Longueur (mm)	14
Tolérance mécanique	ISO 2768 F	PINOUT	1
Commande appropriée de la diode laser		IMS-WKL1-01	

Source : <http://www1.produktinfo.conrad.com/cgi-bin/dlc/dlc.cgi?art=187514&ins=62&lang=FR>

A l'aide du tableau :

13.1- Estimer le flux énergétique émis par la diode laser, soit F_e sa valeur typique. Unité ?

13.2- Estimer la puissance électrique correspondante fournie à la diode laser. En déduire le rendement de conversion de la diode laser. Unité ?

13.3- La diode est fournie avec une lentille plastique pour collimater son faisceau. Elle émet ainsi un faisceau de lumière légèrement divergent. Quel le demi-angle au sommet du cône de lumière formé par le faisceau (angle de divergence du faisceau) ?

13.4- La section en sortie du laser est un disque de diamètre $d_s = 3$ mm.

Le faisceau est dirigé perpendiculairement sur un écran distant de $L = 3$ m. Faire une figure explicative « vue de côté ». Décrire ce que l'on voit sur l'écran. Estimer d_e la dimension de la tache.

13.5- En déduire l'éclairement énergétique moyen de la tache E_{tache} .

13.6- Estimer le flux lumineux délivrée par ce laser (unité ?).

13.7- Calculer l'efficacité lumineuse du laser, soit $\eta_{laser} = F_{lumineux} / P_e$ (unité ?).

13.8- Calculer le flux photonique délivrée par ce laser (unité ?).

13.9- Estimer le petit angle solide Ω_s sous lequel le laser éclaire l'écran (unité ?).

13.10- Estimer l'intensité énergétique I_s en sortie du laser (unité ?).

13.11- Estimer l'éclairement moyen E_{Bouguer} de la tache en appliquant directement la formule de calcul du théorème de Bouguer. Que penser de la valeur obtenue E_{Bouguer} ?

13.12- Mettre en œuvre correctement le théorème de Bouguer.

14- Eclairage urbain

Pour assurer l'éclairage d'une rue, on dispose en ligne une série de lampadaires dont chaque lampe à LED 28 W émet uniquement de la lumière visible avec une efficacité de 75 lm.W^{-1} , un rendement énergétique de 23% et une intensité de 780 cd. Vues du sol dans leur cône d'éclairage, ces lampes peuvent être considérées comme ponctuelles et éclairant de façon isotrope.

Deux lampadaires sont espacés de 18 m et la hauteur de suspension des lampes est de 10 m.

14.1- En déduire les flux énergétique et lumineux émis. En déduire l'angle solide dans lequel un lampadaire éclaire, puis le demi-angle au sommet de son cône d'éclairage.

14.2- En déduire l'origine de l'éclairage au pied d'un lampadaire ; calculer l'éclairement de la chaussée obtenu là.

14.3- Même question pour le lieu de la chaussée équidistant des pieds de deux lampadaires voisins.

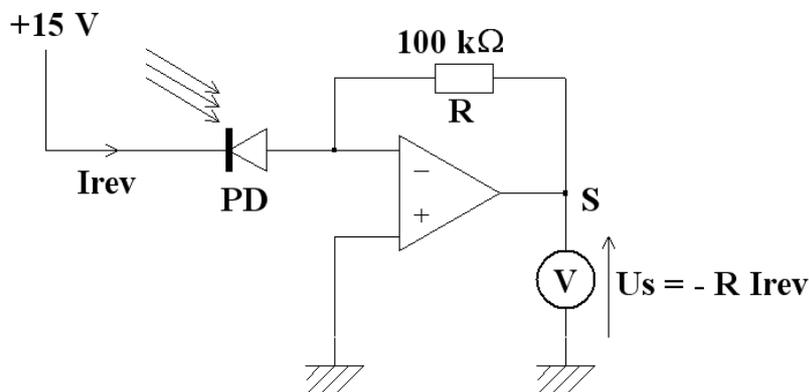


15- Mesure avec une photodiode polarisée en inverse

15.1- Le faisceau d'une diode laser rouge à 650 nm de puissance optique $P_{\text{laser}} = 1 \text{ mW}$, atténué par un filtre neutre de transmission 10%, est entièrement focalisé sur la surface active d'une photo-diode BPW34.

Calculer l'éclairement énergétique moyen reçu par cette photodiode en mW.cm^{-2} .

La photodiode polarisée en inverse est assimilée à un générateur de courant I_{rev} proportionnel au flux de lumière reçu (photocourant).



Photodiode BPW34

Surface active $A = 7,5 \text{ mm}^2$

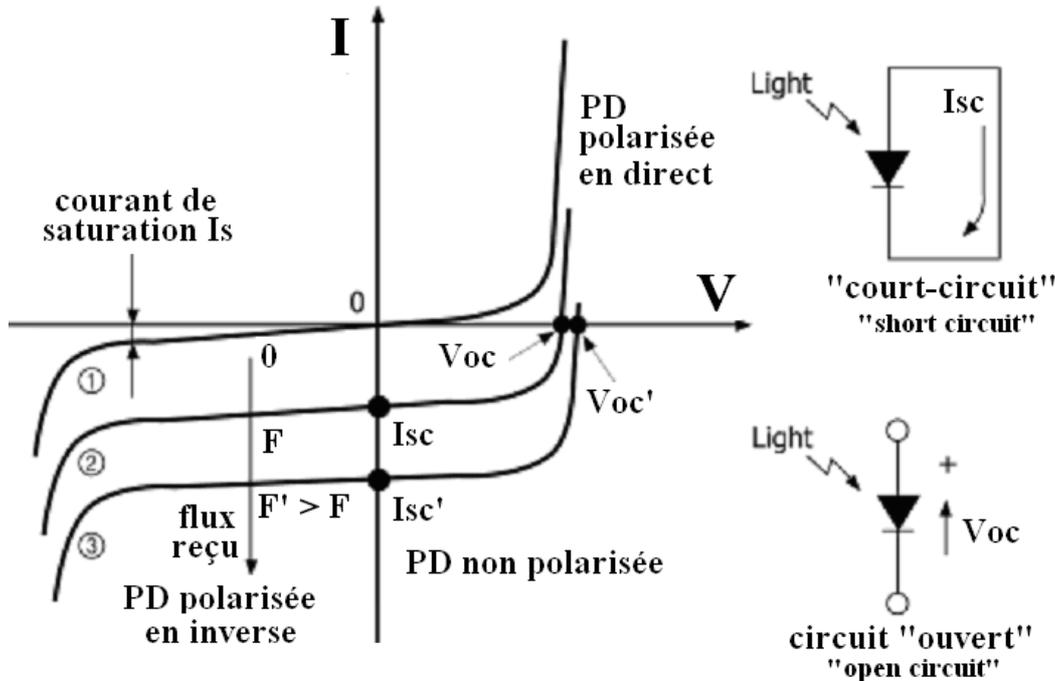
15.2- Quel est le courant de noir I_D généré par la photodiode non éclairée (valeur typique) ?

Estimer la sensibilité $S_I = \frac{I - I_D}{F - 0}$ de cette photodiode pour 950 nm et $V_R = 15 \text{ V}$ (en A.W^{-1}).

15.3- Montrer que la sensibilité de cette photodiode polarisée en inverse est quasi constante pour λ donné.

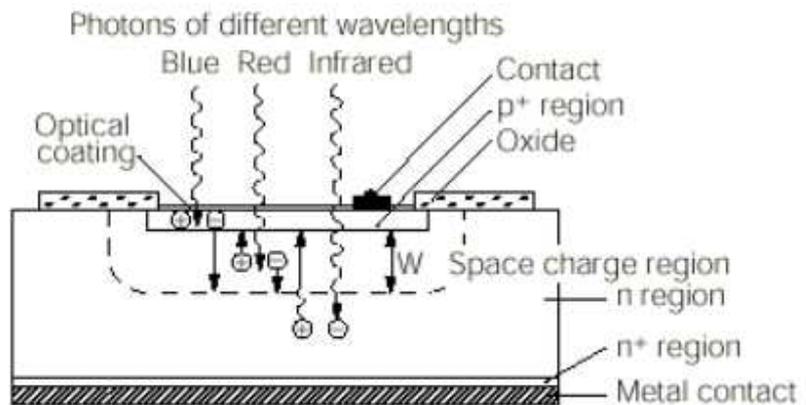
15.4- Estimer la sensibilité pour 632 nm. En déduire le photocourant I_{rev} produit ainsi que la tension de mesure. La résistance $R = 100\text{ k}\Omega$ est-elle bien choisie ?

15.5- Estimer la capacité de la photodiode pour $V_R = 15\text{ V}$. En déduire le temps de montée typique ainsi que la fréquence maximale de modulation d'éclairement détectable par cette photodiode.



Sous polarisation inverse, les caractéristiques simplifiées de la photodiode sont des droites quasi-horizontales se décalant proportionnellement vers les valeurs $I_{rev} \downarrow$ lorsque le flux reçu \uparrow

La jonction est réalisée avec deux semi-conducteurs dopés N et P. La zone de jonction, au contact des deux matériaux stocke des charges électriques : effet capacitif C_d dépendant de la tension de polarisation (cf. figure 6)

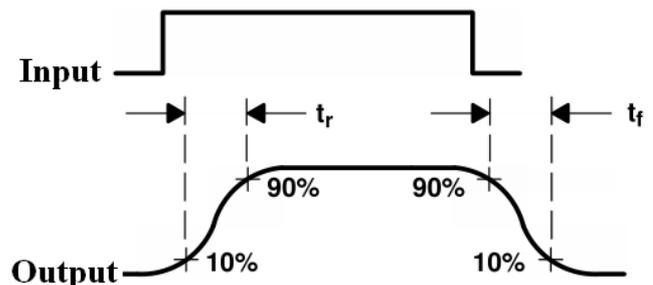


Coupe d'une photodiode

On mesure :

- des **temps de montée** t_r (r pour *risetime*) et de descente t_f (f pour *falltime*) vérifiant : $t_r \approx t_f \approx 2.2 R C_d$.

- une **fréquence maximale** de modulation d'éclairement sur la photodiode (hypothèse d'une réponse type Passe-bas du 1^{er} ordre) vérifiant : $f_c \approx 1 / 2\pi R C_d$ (f coupure)



Silicon PIN Photodiode

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}C$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Breakdown Voltage	$I_R = 100 \mu A, E = 0$	$V_{(BR)}$	60			V
Reverse Dark Current	$V_R = 10 V, E = 0$	I_{ro}		2	30	nA
Diode Capacitance	$V_R = 0 V, f = 1 MHz, E = 0$	C_D		70		pF
	$V_R = 3 V, f = 1 MHz, E = 0$	C_D		25	40	pF
Reverse Light Current	$E_A = 1 klx, V_R = 5 V$	I_{ra}		75		μA
	$E_e = 1 mW/cm^2, \lambda = 950 nm, V_R = 5 V$	I_{ra}	40	50		μA
Angle of Half Sensitivity		ϕ		± 65		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ_p		900		nm
Rise Time	$V_R=10V, R_L=1k\Omega, \lambda=820nm$	t_r		100		ns
Fall Time	$V_R=10V, R_L=1k\Omega, \lambda=820nm$	t_f		100		ns

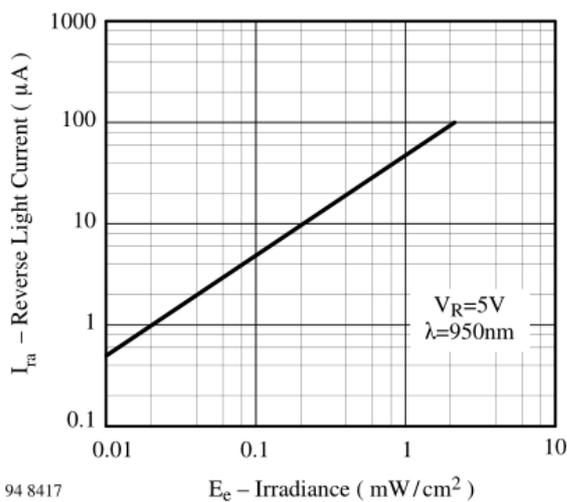


Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance

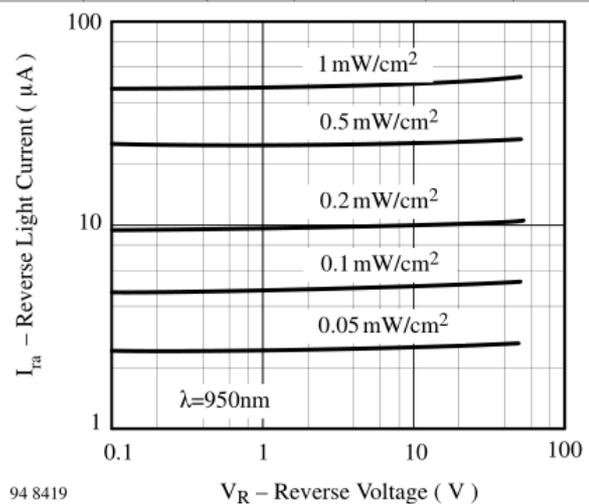


Figure 5. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

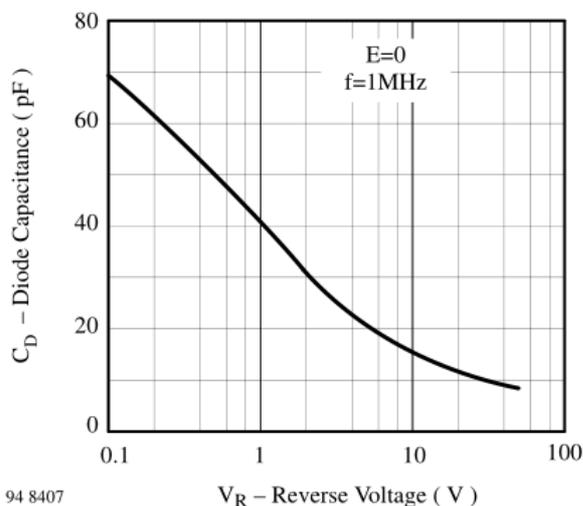


Figure 6. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

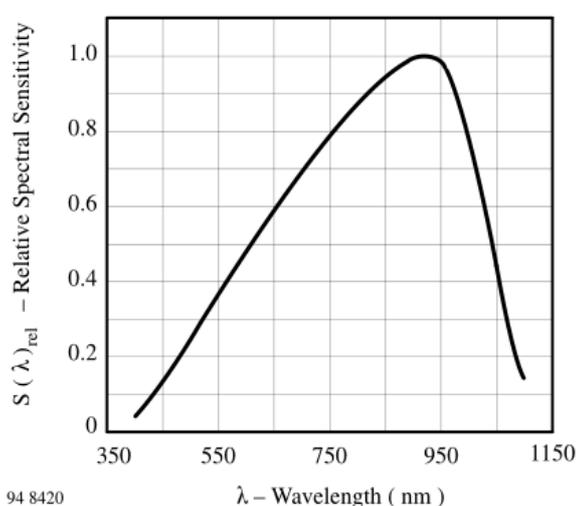
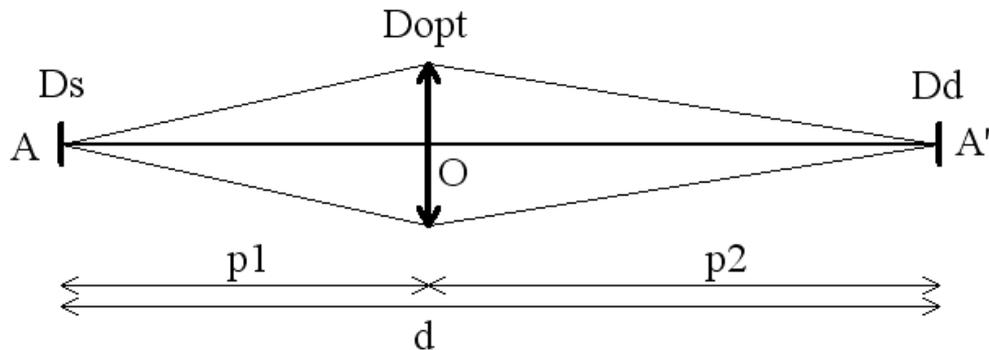


Figure 7. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

16- Transfert de flux optimal par une lentille convergente

On cherche à collecter le flux émis par une source optique uniforme se présentant comme un disque de diamètre $D_s = 1 \text{ mm}$ et de luminance $L_s = 1 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$.



Pour ce faire, on utilise un photodétecteur de diamètre $D_d = 2 \text{ mm}$, situé à $d = 1 \text{ m}$, sur lequel on forme une image de la source à l'aide d'une lentille de diamètre utile $D_{\text{opt}} = 15 \text{ mm}$, de longueur focale f' et de transmission énergétique $T = 0.95$. Le transfert de flux est optimal lorsque détecteur et image ont même taille.

16.1- Où faut-il positionner la lentille ?

16.2- Quelle est la focale de cette lentille ?

16.3- Quel est le flux reçu sur le détecteur ? Quelle est l'influence du diamètre de la lentille ?

Sources des figures et des images :

Couverture	Lentille de Fresnel d'un phare québécois http://www.flickr.com/photos/10034414@N02/1215487190/
Fibre optique	http://fr.farnell.com/
Prisme	<i>Optique géométrique</i> par B. Balland PPUR, disponible pour partie sur http://books.google.fr
Miroirs sphériques	http://www.masc.ulg.ac.be/jeux/astro3.htm
Smartphone	http://www.gizmag.com/camera-sensor-size-guide/26684/
Eclairage urbain	http://www.eclairages-led.com/eclairage-a-leds-lampes-pour-eclairage-urbain.html (lampadaire à lampe à LED 28 W) <i>Traité d'éclairage</i> par W.Sanial Cépadués
Photodiode	http://www.conrad.fr/wcsstore/ConradImages/PRODUITS/1143325_p_g.jpg https://dossier.univ-st-etienne.fr/destoucn/www/Enseignements/CM-TD-CaptOpt.pdf p103 http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/otros/infrarrojos/Datasheet/fotoDiodo7.pdf