

Lycée(s)	Général	Technologique	Professionnel	
Niveau(x)	CAP	Seconde	Première	Terminale
Enseignement(s)	Commun	De spécialité	Optionnel	

**Physique-chimie**

## Illustration expérimentale de l'absorption du rayonnement infrarouge par différents matériaux

La ressource vise à illustrer expérimentalement l'absorption d'un rayonnement infrarouge par différents matériaux. Dans un premier temps, l'expérience met en évidence l'absorption du rayonnement infrarouge par l'eau puis l'absorption du même rayonnement par le verre. La ressource est exploitable dans le cadre du module « Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'origine de l'effet de serre atmosphérique » du programme de terminale baccalauréat professionnel (module commun à l'ensemble des groupements). La démarche expérimentale vise à répondre à la problématique posée par la situation déclenchante : l'atténuation de l'éclairement avec la profondeur d'eau et avec l'épaisseur du verre.

### Mots-clés

Rayonnement infrarouge, longueur d'onde, diode électroluminescente (DEL) infrarouge, phototransistor, luxmètre, absorption, transmission, spectre d'émission, spectre d'absorption, effet photoélectrique, réfringence.

### Références au programme

**Module :** Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'origine de l'effet de serre atmosphérique (communs à tous les groupements)

**Capacité :** Illustrer expérimentalement l'absorption du rayonnement infrarouge par différents matériaux.

## Place et progression dans les programmes

### Lien avec le programme de seconde professionnelle en physique-chimie

L'activité permet aux élèves de réinvestir des connaissances acquises dans le domaine de l'optique dès la classe de seconde. En effet, le module « Comment caractériser et exploiter un signal lumineux ? » du programme leur permet d'acquérir des connaissances sur les phénomènes de réflexion et de réfraction. Dans le même module, les élèves ont pu également acquérir des savoir-faire liés à l'utilisation de photocomposants ainsi qu'à la mesure d'un éclairement à l'aide d'un luxmètre.

Le module transversal « Sécurité » de seconde peut être remobilisé par les capacités et les connaissances associées aux risques liés à la manipulation du rayonnement infrarouge et aux précautions à prendre vis-à-vis de ce type d'appareils et des circuits électriques.

## Lien avec le programme de première en physique-chimie (tous les groupements)

L'activité proposée permet de réinvestir les capacités visées dans le module « Comment transmettre l'information ? » du domaine des signaux et plus précisément d'identification du domaine spectral d'un rayonnement électromagnétique à partir de sa longueur d'onde dans le vide.

## Liens avec le programme de terminale en mathématiques (groupements A, B et C)

L'expérience à mener est l'occasion d'appliquer et de contextualiser les capacités développées par les modules suivants :

- Statistiques à deux variables : choisir un modèle adapté pour modéliser une expérience, réaliser un ajustement affine d'un nuage de points associé à une série statistique à deux variables et utiliser cet ajustement pour interpoler ou extrapoler des valeurs inconnues.
- Suites numériques : calculer un terme de rang  $n$  d'une suite géométrique et étudier le sens de variation de celle-ci dans le cas où sa raison  $q$  est strictement positive. ( $0 < q < 1$  dans cette activité).
- Fonctions exponentielles et logarithme décimal :
  - o Représenter graphiquement les fonctions exponentielles de base  $q$ , définies sur un intervalle donné, par  $x \mapsto q^x$  (avec  $q$  nombre réel strictement positif et différent de 1);
  - o Résoudre par le calcul, graphiquement, ou à l'aide d'outils numériques des équations du type  $q^x = a$ .

## Liens avec le module transversal « Mesures et incertitudes : quelle variabilité dans le résultat d'une mesure ? »

Ce module transversal occupe une place de choix dans cette activité. Dans toutes les étapes de sa démarche scientifique, l'élève est amené à prendre en considération la précision des appareils utilisés, à choisir avec pertinence ses relevés expérimentaux et à faire preuve d'esprit critique vis-à-vis des conditions expérimentales et des incertitudes qu'elles sont susceptibles d'engendrer.

## Présentation de l'activité

Une télécommande à infrarouge sert à activer le photodétecteur intégré d'un projecteur submersible à DEL. L'objectif visé par l'activité est de vérifier expérimentalement deux hypothèses pouvant justifier le dysfonctionnement de la télécommande lorsque le projecteur se trouve immergé au-delà d'une certaine profondeur d'eau.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **Hypothèse 1** : le rayonnement infrarouge émis par la télécommande est fortement absorbé par l'eau.
- **Hypothèse 2** : le rayonnement infrarouge émis par la télécommande est fortement réfléchi ou absorbé par le verre du projecteur.

Pour ce faire, l'élève doit mettre en place une démarche scientifique. Dans un premier temps, elle lui permet de mettre en évidence l'absorption du rayonnement infrarouge par l'eau. Par la suite, l'élève étudie l'évolution de l'absorption en fonction de la profondeur, le conduisant ainsi à définir une profondeur limite au-delà de laquelle ce rayonnement n'active plus le projecteur.

Dans un deuxième temps, il s'intéresse à l'influence de l'épaisseur du verre du projecteur dans l'atténuation du signal reçu par le photodétecteur.

À l'issue de ces étapes, il est en mesure de proposer des solutions permettant de remédier au dysfonctionnement de la télécommande.

## Structuration de l'activité

L'activité est organisée en deux parties : un travail préliminaire à réaliser en dehors de la classe puis une activité expérimentale en classe. Le premier travail prépare la séance expérimentale. Il traite de l'absorption du rayonnement infrarouge par deux matériaux (air et eau) en remobilisant les notions nécessaires à l'appropriation de la séance à venir. L'activité expérimentale répond à une première problématique en validant ou invalidant les deux hypothèses. Des exemples de support destinés aux élèves sont mis à la fin du document en annexe.

### Travail préliminaire

L'objectif de cette activité à faire hors de la classe est de rechercher des informations utiles sur l'absorption du rayonnement infrarouge par l'air et par l'eau. Ce travail est suivi d'une mise en commun des résultats en classe et d'une discussion visant une bonne appropriation du contexte par l'ensemble des élèves avant de se lancer dans la démarche expérimentale.

### Situation déclenchante

#### Contexte

Le gérant d'un parc d'attractions souhaite équiper son aquarium géant de projecteurs émettant une lumière multicolore. Il consulte un site spécialisé et choisit un des modèles proposés.

Avant de valider sa commande, le gérant consulte les avis des clients de ce site concernant ce produit. Beaucoup d'entre eux signalent un problème de fonctionnement de la télécommande lorsque les projecteurs sont immergés à des profondeurs largement inférieures à celle préconisée par le constructeur.

## Problématiques

- **Problématique 1** : Comment expliquer que la télécommande ne fonctionne pas à des profondeurs largement inférieures à celles annoncées par le constructeur ?
- **Problématique 2** : Comment y remédier ?

## Remarque sur la modélisation

Dans l'expérience proposée avec de l'eau la distance entre l'émetteur et le récepteur est maintenue constante pour limiter le nombre de paramètres variables. Cette simplification s'écarte de la situation modélisée, dans laquelle la distance entre la télécommande et le projecteur varie avec la profondeur de ce dernier.

## Déroulé de la séance expérimentale

### Problématique 1

Les élèves élaborent des protocoles expérimentaux dont l'objectif est d'étudier la variation de l'éclairement résiduel du rayonnement émis par une diode infrarouge en fonction de la distance parcourue dans l'air ou dans l'eau. Le travail préliminaire les a conduits à découvrir que l'eau et l'air absorbent le rayonnement infrarouge. La mise en commun des résultats fait émerger la nécessité de prendre en considération les conditions expérimentales pour valider les résultats obtenus. Les élèves sont amenés à faire preuve d'esprit critique vis-à-vis des résultats et des informations disponibles.

Les résultats expérimentaux sont appuyés par les documents fournis dans le travail préliminaire afin de valider l'hypothèse 1 : le rayonnement infrarouge émis par la télécommande est fortement absorbé par l'eau.

Afin de vérifier l'hypothèse 2 (le rayonnement infrarouge émis par la télécommande est fortement réfléchi ou absorbé par le verre du projecteur), les élèves sont amenés à imaginer un nouveau protocole expérimental visant à évaluer le pourcentage de transmission du rayonnement infrarouge par un échantillon de verre. Ils mesurent les éclairements de la lumière incidente, de la lumière réfléchie et de la lumière transmise puis en déduisent la perte par absorption.

Ils déterminent les pourcentages de transmission du rayonnement en fonction des épaisseurs du verre. Les calculs faisant intervenir les suites géométriques, les fonctions exponentielles et logarithmes décimales, ils peuvent valider l'hypothèse 2 de façon argumentée à l'aide de leurs savoirs mathématiques.

### Problématique 2

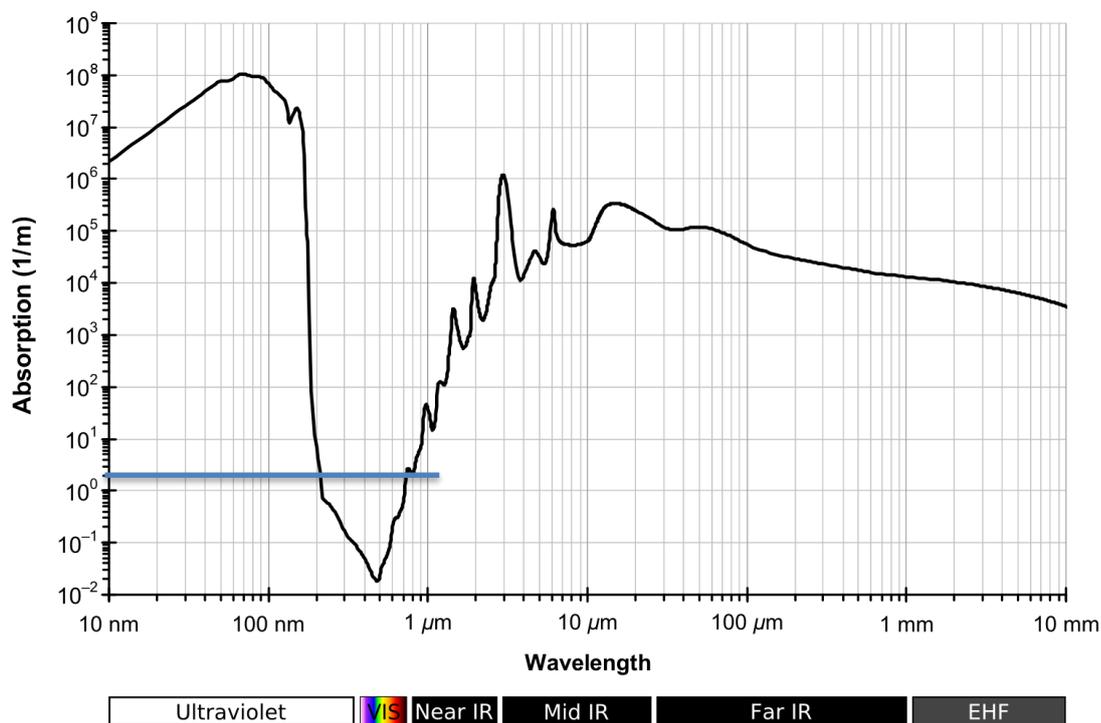
En remplaçant le luxmètre par un phototransistor, les élèves peuvent réaliser une étude comparative de leurs sensibilités respectives. Elle leur fait prendre du recul pour proposer des améliorations du système de commande des projecteurs. Ces améliorations portent essentiellement sur la DEL de la télécommande, la sensibilité du capteur et l'épaisseur du verre du projecteur.

## Compléments théoriques, à l'attention du professeur, nécessaires à la compréhension de la situation

### Complément lié au travail préliminaire

Dans le travail préliminaire, la détermination des valeurs du paramètre  $q$  données peut paraître complexe.

Tout d'abord, on utilise le spectre d'absorption de l'eau ci-dessous :



Ce spectre donne le coefficient d'absorption  $k$  en fonction de la longueur d'onde.

Nous avons :  $I/I_0 = e^{-kL}$  ou  $I/I_0 = q^L$  avec  $q = e^{-k}$ .

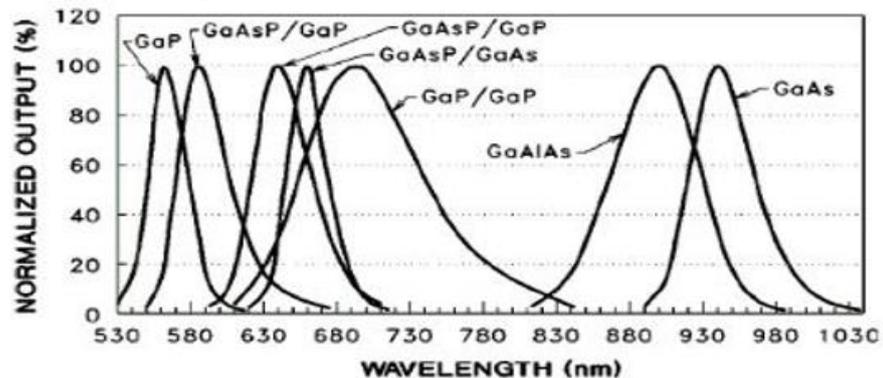
Si la lecture de  $k$  ne présente pas trop de difficulté pour une longueur d'onde de 450 nm, il n'en est pas de même pour 890 et 940 nm. Les valeurs relevées pour ces deux longueurs d'onde seront forcément entachées d'erreurs de lecture, mais cela ne nuit nullement à l'étude comparative, objet de cette question.

Dans cette situation,  $L$  et  $k$  sont considérés comme des nombres sans dimension par souci d'homogénéité des unités. En effet,  $\log(I/I_0) = L \times \log(q)$  nous impose de considérer  $L$  comme un nombre de centimètres et non comme une distance s'exprimant en cm. De même  $q = e^{-k}$  impose de considérer le coefficient  $k$  comme sans dimension.

## Complément lié au matériel dans l'expérience

### DEL infrarouge

Les DEL à infrarouge utilisées ici sont une TSAL6200 et une TSHF5410 dont les émetteurs sont, respectivement, GaAs (arséniure de gallium) et GaAlAs (arséniure d'aluminium-gallium). Ces semi-conducteurs présentent des spectres d'émission situés dans le proche infrarouge avec des maximums à 940 nm et 890 nm.

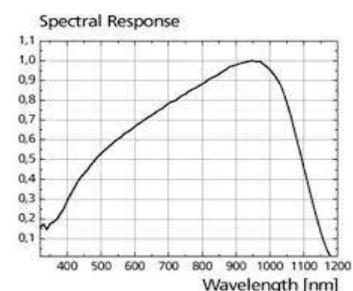


### Photodiode et phototransistor

Les photodiodes et phototransistors sont des transducteurs électro-optiques qui fonctionnent grâce à l'effet photoélectrique : ils convertissent la lumière incidente en courant électrique.

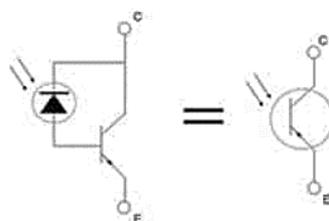
- **La photodiode** (constituée d'un semi-conducteur à jonction PN)

En polarisation inverse, elle est traversée par un courant dont l'intensité augmente avec l'éclairement. Une amplification est nécessaire compte tenu des faibles valeurs des intensités du courant mises en jeu. Le luxmètre utilisé dans ce TP est un capteur relié à une centrale d'acquisition ayant une étendue de 0 à 10 klux et une résolution de 10 lux. Il est équipé d'une photodiode au silicium dont le spectre est donné ci-contre.



- Le phototransistor

C'est une photodiode associée à un transistor comme le montre le schéma ci-dessous. Le courant qui alimente la base du transistor est celui émis par la photodiode montée en polarisation inverse. Il est amplifié par le gain du transistor.

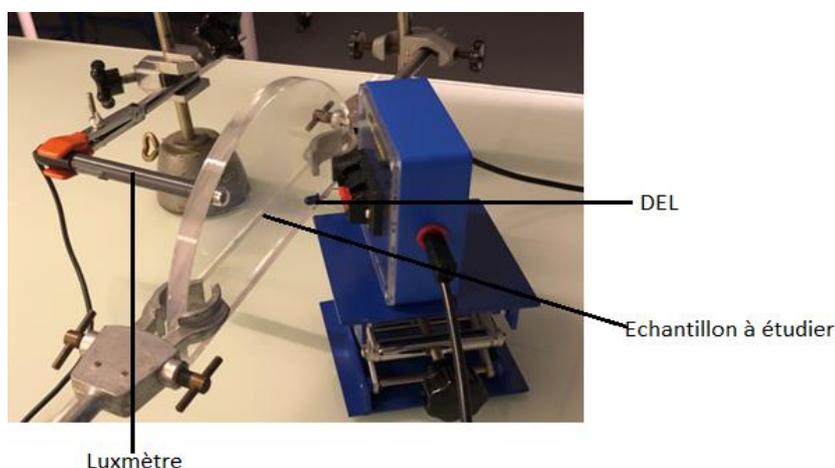


## Apports techniques supplémentaires

### Points d'attention pour l'expérimentation

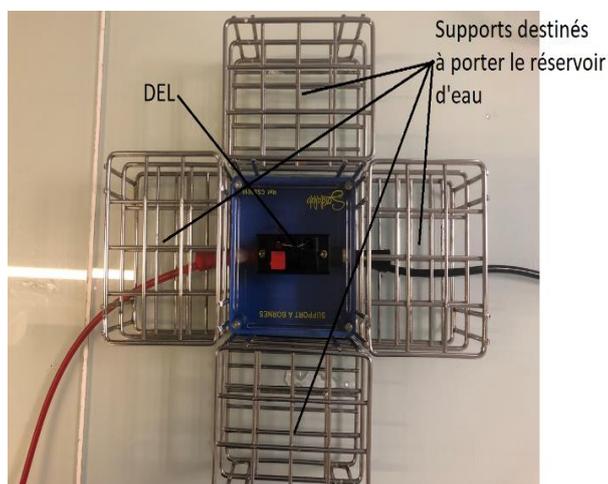
Un bon alignement de l'émetteur (DEL) avec le récepteur (luxmètre ou phototransistor) doit être respecté, il s'agit bien de l'alignement des composants et non simplement celui de leurs supports. Dans un souci de précision, le réglage de cet alignement des composants s'effectue en plaçant le récepteur à la plus grande distance envisageable de l'émetteur. Des ajustements peuvent s'avérer nécessaires pour s'assurer, à chaque distance, de la lecture d'un éclairement maximal.

*Montage permettant la mesure des éclairagements réfléchis et transmis :*

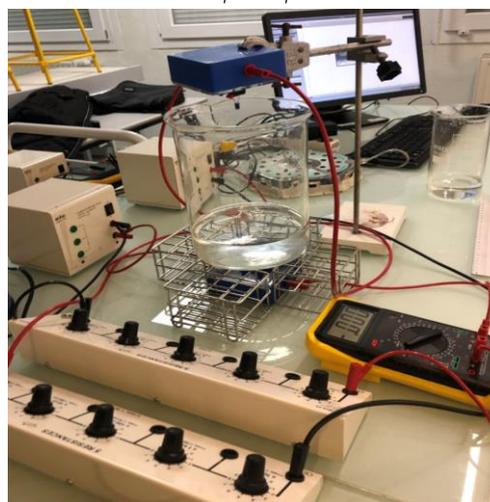


Lors de l'étude des variations de l'éclairement avec la hauteur d'eau, le récepteur doit être le plus près possible de la surface de l'eau sans toutefois la toucher. Après chaque addition d'eau, la surface de l'eau doit s'immobiliser complètement avant de rechercher le maximum de l'éclairement. De très petits déplacements du récepteur autour de la position précédente sont nécessaires. Une variation considérable des positions des maximums d'éclairement est synonyme d'un mauvais réglage initial.

*DEL sur son porte-composant entourée des supports destinés à porter le réservoir d'eau :*



*Montage destiné à l'étude de la variation de la tension image de l'éclairement en fonction de la hauteur d'eau à distance émetteur-récepteur fixe :*



Pour la propagation dans l'eau, l'obtention d'un éclairement inférieur à celui obtenu dans l'air ne suffit pas pour conclure que l'eau absorbe le rayonnement infrarouge. En effet, il se peut que le faisceau soit plus divergent dans l'eau que dans l'air. Cette hypothèse peut être écartée par des arguments théoriques et expérimentaux. Les questions 5 à 11 de l'activité expérimentale permettent de les introduire.

### Choix de la valeur de $R'$

$R'$  est défini dans l'activité expérimentale, étude de la problématique 2. Une saturation aux alentours de 6 V sur les courtes distances émetteur-récepteur est observée pour une trop grande valeur de  $R'$  ; un palier pouvant s'étaler sur quelques dizaines de centimètres est susceptible d'apparaître. À l'inverse, en augmentant la valeur de  $R'$ , les valeurs de la tension obtenues à grandes distances sont amplifiées. Ainsi, pour des distances émetteur-récepteur dépassant le mètre,  $R'$  est de l'ordre du  $M\Omega$ .

### Sitographie

- [Spectre d'absorption de l'eau ;](#)
- [Ressource d'accompagnement de programme de l'enseignement scientifique : courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre.](#)

## Annexe : exemple de support élève

### Proposition de travail préliminaire

La télécommande livrée avec les projecteurs est équipée d'une DEL dont le spectre d'émission est le suivant :

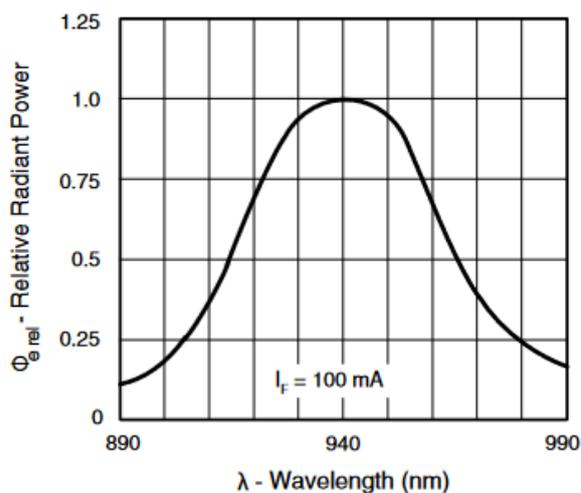


Figure 1 : Spectre d'émission de la DEL à infrarouge TSAL6200

En abscisse : on trouve la longueur d'onde de la radiation émise.

En ordonnée : Le flux relatif (sans unité) obtenu en divisant la valeur du flux (en watt) de chaque radiation par la valeur du flux maximal associé à la radiation de longueur d'onde 940 nm.

1. Indiquer la nature du rayonnement émis par cette DEL.
2. Citer un capteur capable de détecter le rayonnement émis par la télécommande. Préciser l'effet de ce rayonnement sur ce capteur.
3. Effectuer une recherche sur le web afin de déterminer si l'air absorbe le rayonnement infrarouge (la source de votre réponse sera précisée). Dans le cas d'une réponse positive, préciser les constituants responsables de cette absorption.

Un faisceau incident d'intensité  $I_0$  traverse une couche d'eau d'épaisseur  $L$ . L'intensité du faisceau émergent est notée  $I$ .

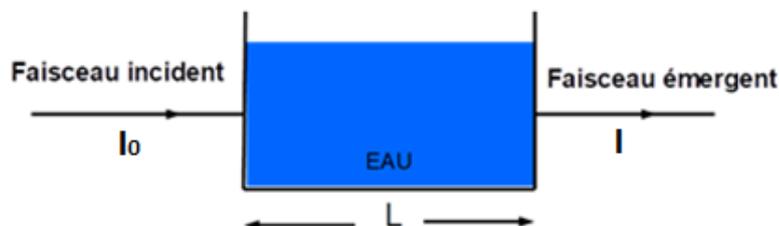


Figure 2 : schéma de l'absorption d'un rayonnement par l'eau

Nous avons la relation :  $\frac{I}{I_0} = q^L$

L est la longueur de la cuve en nombre de centimètres (nombre sans dimension).

q est un coefficient dépendant de la longueur d'onde du rayonnement incident et de la nature de la substance traversée par ce rayonnement. Ce rapport donne le taux de transmission de la lumière en fonction de la largeur L de la cuve.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de q pour trois longueurs d'onde :

Longueur d'onde (nm)	450	890	940
Valeur de q	0,997	0,942	0,819

En traçant les courbes représentatives de  $I/I_0$  en fonction de L pour ces trois longueurs d'onde, on obtient la représentation graphique suivante :

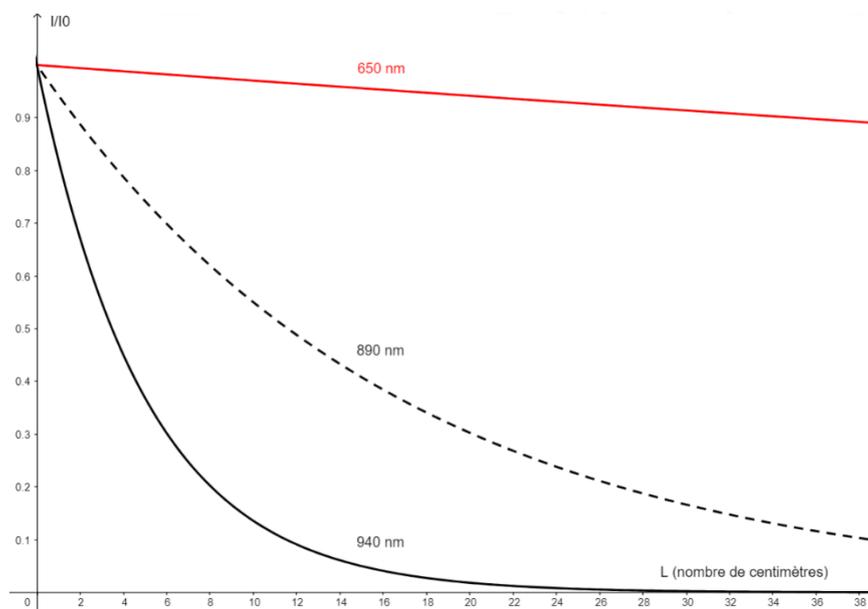


Figure 3 : Atténuation de l'intensité de la lumière en fonction de la distance traversée dans l'eau pour diverses longueurs d'onde

4. Comparer l'atténuation d'une lumière bleue à celle d'une lumière infrarouge après passage dans l'eau.

## Activité expérimentale

### Étude de la problématique 1

**Problématique :** Comment expliquer que la télécommande ne fonctionne pas à des profondeurs largement inférieures à celle annoncée par le constructeur ?

### Hypothèses

Afin de répondre à cette problématique, on se propose de vérifier les deux hypothèses suivantes :

- **Hypothèse 1 :** Le rayonnement infrarouge envoyé par la télécommande est fortement absorbé par l'eau.
- **Hypothèse 2 :** Le rayonnement infrarouge envoyé par la télécommande est fortement réfléchi ou absorbé par le verre du projecteur.

### Travail expérimental

#### Partie 1 : Étude de l'hypothèse 1

1. Rédiger un protocole expérimental et schématiser un montage vous permettant d'étudier la variation de l'éclairement en fonction de la distance émetteur-récepteur. On utilise l'air ambiant comme milieu de propagation.
2. Réaliser votre protocole après l'avoir fait valider par le professeur.
3. Effectuer le même travail avec l'eau comme le milieu de propagation.
4. Les résultats obtenus vous paraissent-ils suffisants pour conclure en faveur de l'absorption du rayonnement infrarouge par l'eau ? Justifier votre réponse.
5. Observer attentivement le schéma suivant :

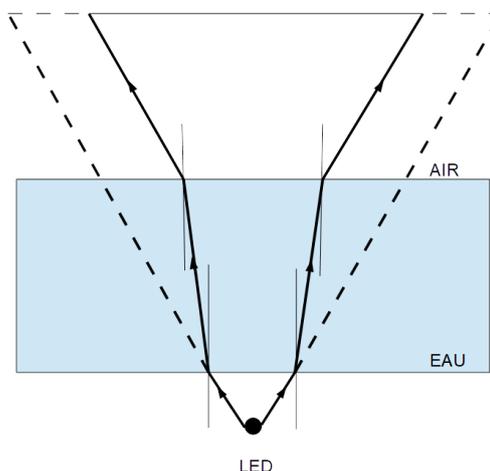


Figure 4 : Schéma illustrant la diminution de l'élargissement du faisceau après passage dans l'eau

Sur le schéma, les faisceaux émis par la DEL se propageant dans l'air sont poursuivis en pointillé dans l'eau. Les faisceaux traversant une couche d'eau avant d'émerger dans l'air sont en traits pleins.

6. Quelle propriété optique de l'eau, comparée à celle de l'air, justifie le rétrécissement du faisceau dans l'eau ?
7. On fixe une distance diode-luxmètre et on remplace progressivement l'air contenu entre eux par de l'eau (mise en place d'un béccher que l'on remplit progressivement).
8. En vous basant sur le schéma précédent, prévoir l'évolution de l'éclairement au cours de cette opération dans le cas où ce rayonnement n'est pas absorbé par l'eau.
9. Proposer puis réaliser une expérience rapide vous permettant de valider votre réponse à la question précédente.
10. En tenant compte de ce résultat supplémentaire, devez-vous reconsidérer votre réponse à la question 4 ?
11. Confirmer ou infirmer l'hypothèse 1 en justifiant clairement votre réponse.

## Partie 2 : Étude de l'hypothèse 2

Vous disposez d'un échantillon du même verre que celui des projecteurs.

12. Proposer un protocole expérimental vous permettant de vérifier l'hypothèse 2.
13. Exécuter votre protocole après l'avoir fait valider par le professeur.
14. Confirmer ou infirmer l'hypothèse 2 en justifiant clairement votre réponse.

## Étude de la problématique 2

**Problématique :** Comment remédier à ce dysfonctionnement ?

Le luxmètre peut être remplacé par le dispositif suivant :

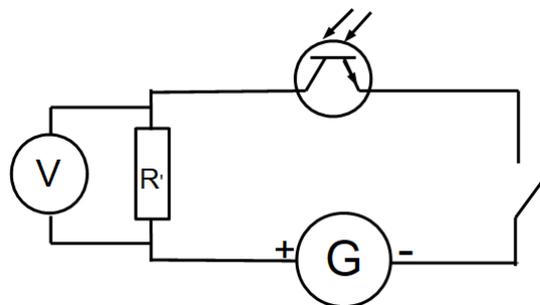


Figure 5 : Photorécepteur mettant en œuvre un phototransistor

Il s'agit d'un phototransistor monté en série avec un dipôle ohmique de résistance  $R' = 10\text{k}\Omega$ . L'ensemble est alimenté par un générateur délivrant une tension continue égale à 6V.

Le phototransistor reçoit la lumière émise par la DEL et émet un courant électrique croissant avec l'éclairement reçu. La tension mesurée par le voltmètre est proportionnelle à l'intensité de ce courant et constitue indirectement une image de cet éclairement.

15. Décrire et réaliser une expérience simple vous permettant de comparer la sensibilité de ce dispositif à celle du luxmètre.

16. On réalise le montage suivant :

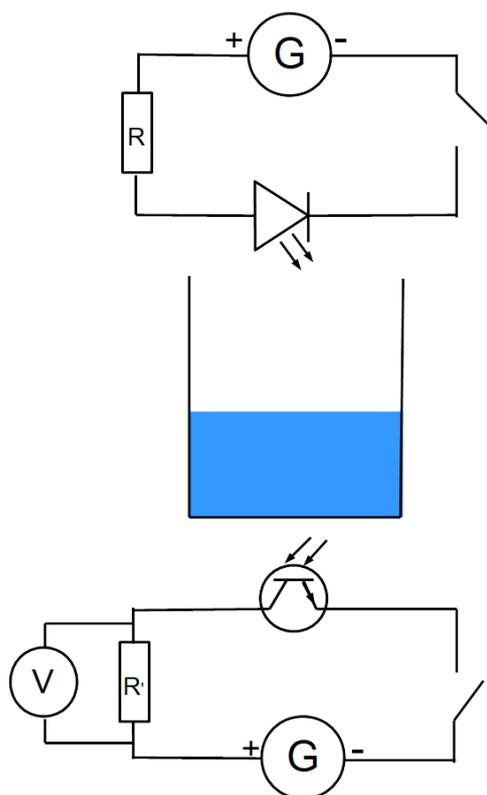


Figure 6 : Montage permettant l'étude de la variation avec la hauteur d'eau de l'éclairement mesuré par un phototransistor de la lumière émise par une DEL

On place entre la DEL et le transistor un bécier que l'on remplit progressivement avec de l'eau. La distance DEL-phototransistor est maintenue fixée à 30 cm.

On enregistre la tension affichée par le voltmètre en fonction de la hauteur  $h$  d'eau pour les trois DEL suivantes :

- Une DEL émettant une lumière bleue d'une longueur d'onde égale à 450 nm.
- Une DEL émettant un rayonnement infrarouge d'une longueur d'onde égale à 890 nm.
- Une DEL émettant un rayonnement infrarouge d'une longueur d'onde égale à 940 nm.

La figure ci-dessous rassemble les enregistrements obtenus :

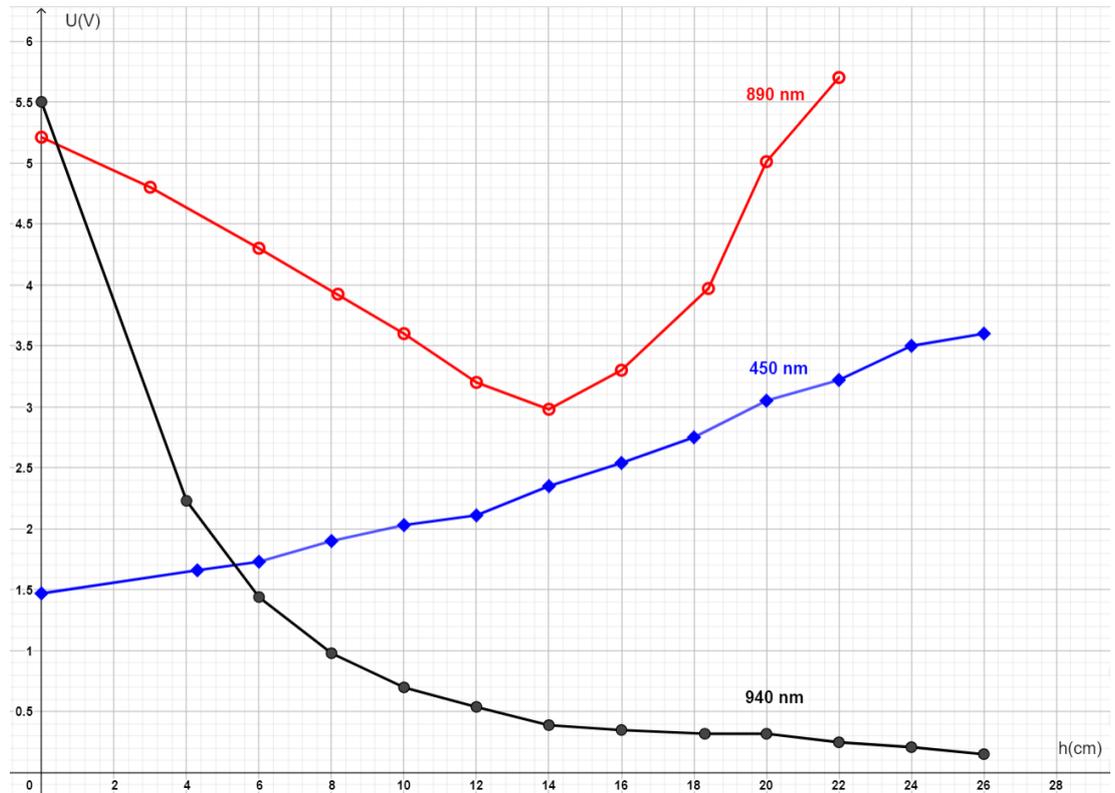


Figure 7 : mesures obtenues pour une diode bleue et deux diodes à infrarouge réalisées à l'aide d'un phototransistor placé à distance fixe des DEL

En vous appuyant sur les réponses déjà fournies, interpréter ces résultats.

- Compte tenu de tout ce qui précède, faire des propositions visant à pallier le dysfonctionnement rapporté par les clients.