



# OPTO-ÉLECTRONIQUE

Travaux Pratiques

Semestre 5

---

## Développer et caractériser un système de photodétection

---

*Ce sujet est disponible au format électronique sur le site du LEnsE - <https://lense.institutoptique.fr/> dans la rubrique Année / Première Année / Opto-Electronique S5 / TP / Sujet.*



© 2025 by LEnsE-IOGS



## Objectif global

L'objectif principal de l'ensemble des séances de TD et de TP de ce module est de **développer et caractériser un système de photodétection** permettant d'obtenir idéalement une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse d'une source à mesurer.

## Modalités

À l'issue des séances de TP et de TD, les étudiant·es seront capables de :

**Bloc 1** caractériser un dipôle électronique (linéaire ou non-linéaire) et en **déduire ses zones de fonctionnement**

**Bloc 2** caractériser un système linéaire dans les domaines temporel et fréquentiel

**Bloc 3** mettre en œuvre des montages de photodétection et de **comparer leurs performances fréquentielles et temporelles**

**Bloc 4** documenter un travail scientifique/technique

*Une description plus détaillée de chacun des acquis d'apprentissage visés dans cette unité d'enseignement est donnée à la page suivante.*

## Déroulement

	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
	VALIDATION MISSIONS		AUTO-EVALUATION		ACT. EN EQUIPE	
	PhotoDiode	LED				
<b>BLOC 1</b>	Caractérisation statique	Mode XY				Transmission par la lumière (AM) ou Régulation Température (numérique) ou Retour sur Photodétection
<b>BLOC 2</b>	ALI Ampli Inverseur					
	Réponse fréquentielle Bande-passante	Réponse fréquentielle	Réponse fréquentielle Bande-passante	Réponse indicielle Balayage rapide		
<b>BLOC 3</b>	Détecteur Simple	Emetteur	Détecteur Suiveur	Détecteur Transimpédance	Choisir / Adapter	
	Détecteur	Source	Détecteur	Source		
<b>BLOC 4</b>	Cahier de laboratoire (numérique) / Validation des résultats et des protocoles		Compte-rendu		Présentation Poster	

## Autres ressources

Un **feuilleton annexe**, présentant succinctement l'**ensemble des instruments**, est disponible sur chacune des paillasses.

Un **document annexe** contient des ressources nécessaires pour les TP : documents constructeurs, aide de cours, protocoles d'utilisation du matériel...

*L'ensemble de ces documents est également disponible sur le site du LEnSE.*

## Acquis d'Apprentissage Visés - AAV

Plus spécifiquement pour chacun des blocs suivants, les étudiant·es seront capables de :

### Bloc 1 - caractériser un dipôle électronique (linéaire ou non-linéaire) statiquement et en déduire ses zones de fonctionnement

- B 1.1 Lister les **grandeurs** et les **paramètres d'intérêt** du composant à partir d'une documentation technique fournie
- B 1.2 Choisir les **paramètres des instruments de mesures** et des composants de protection
- B 1.3 Tracer la **caractéristique statique** à l'aide :
  - d'un multimètre
  - d'un oscilloscope en mode XY
- B 1.4 Décrire le fonctionnement d'un montage simple à diodes

### Bloc 2 - caractériser un système linéaire dans les domaines temporel et fréquentiel

- B 2.1 Donner l'expression de la **réponse en fréquence** attendue à partir du schéma électrique d'un circuit passif ou contenant des ALI
- B 2.2 Tracer l'allure de la **réponse en fréquence** d'un circuit sur l'écran d'un oscilloscope par une méthode de balayage en fréquence
- B 2.3 Mesurer le **diagramme de Bode** en amplitude d'un circuit linéaire point par point à l'aide :
  - d'un oscilloscope
  - d'un dB mètre
- B 2.4 Mesurer un **déphasage**
- B 2.5 Définir et mesurer la **réponse indicielle** et/ou la **réponse impulsionnelle** d'un circuit
- B 2.6 Proposer un **modèle mathématique** des caractéristiques d'un circuit à partir de relevés de mesure de la réponse en fréquence et/ou de la réponse indicielle

### Bloc 3 - mettre en œuvre des montages de photodétection et de comparer leurs performances fréquentielles et temporelles

- B 3.1 Réaliser un circuit contenant une source à LED
- B 3.2 Caractériser un **circuit de photodétection** (simple, suiveur, transimpédance, transimpédance avec filtrage)
- B 3.3 Choisir et adapter les **éléments d'un circuit de photodétection** en fonction d'une application donnée

### Bloc 4 - documenter un travail scientifique/technique

- B 4.1 Documenter un cahier de laboratoire numérique partagé incluant les différents protocoles réalisés, les résultats analysés et leurs analyses
- B 4.2 Ecrire un compte-rendu d'une expérience scientifique
- B 4.3 Produire un document de communication scientifique à partir d'une expérience (en équipe)

---

## Travail à réaliser au cours des séances

---

### Livrables et cahier de laboratoire numérique

Au cours des différentes séances, vous serez amenés à **réaliser des expériences** afin de répondre à la problématique posée par les missions proposées.

Dans le cadre de ces expériences, vous devrez :

1. vous **approprier** la problématique
2. proposer ou justifier un **protocole expérimental**
3. **câbler** un circuit et le **rendre opérationnel**
4. exécuter les protocoles expérimentaux
5. **collecter des résultats** et les présenter de manière pertinente
6. justifier ou proposer un **modèle mathématique**
7. expliquer la **cohérence** entre les résultats et la problématique traitée

---

Vous devrez **garder une trace** de l'ensemble des ces étapes dans un **cahier de laboratoire** sous forme **numérique** et **partagé** par les membres du binôme.

---

### Démarche scientifique

En partant d'un **montage simple**, nous allons suivre une démarche scientifique pour **caractériser ce montage, en déduire son modèle mathématique** puis l'**améliorer** pour obtenir des montages aux performances dynamiques (fréquentielles ici) maîtrisées.

Pour cela, vous serez amenés à **utiliser et mettre en place des protocoles expérimentaux**, mettant en œuvre de l'instrumentation scientifique. Les **résultats obtenus** seront alors à **comparer au modèle mathématique**.

Tout au long des séances, vous serez alors amené à **modifier le modèle** associé à chaque montage afin de prendre en compte les observations faites sur les résultats. Cela entraînera une amélioration du montage pour **améliorer les performances** et ainsi proposer un nouveau modèle puis de nouveaux essais pour le valider. Et ainsi de suite.

## Approche par compétences et livrables

Ce module d'enseignement s'inscrit dans le **déploiement de l'approche par compétences** à l'IOGS (APC à l'IOGS). Dans le cadre de ce module, les compétences suivantes seront particulièrement évaluées, au niveau 1, dans le cadre de diverses activités au cours des séances :

**C3** Réaliser et développer une solution technologique

**C4** Valider une solution technologique

**C5** Extraire et interpréter des informations et des données

*La description des compétences est fournie en annexe pour chacune des 3 compétences.*

## Validation de missions - séances 1 et 2

Vous devrez faire valider, en binôme, auprès d'un·e encadrant·e :

- une **caractéristique statique** (photodiode)
- une **réponse fréquentielle** (détecteur simple) incluant une **mesure de bande-passante** et de la **phase** associée

Vous devrez présenter l'ensemble des livrables attendus pour justifier de la validité de vos résultats : protocoles, résultats, analyse et comparaison au modèle théorique.

## Compte-rendu - séance 4

Un **compte-rendu** par binôme est à remettre en fin de séance 4.

*Ce compte-rendu devra porter sur l'un des 3 montages réalisés au cours des séances 3 ou 4.*

Ce document synthétique et riche de preuves (basées sur vos résultats expérimentaux) a pour objectif de revendiquer le fait que vous êtes **capable de réaliser et de caractériser un système linéaire dans les domaines temporel et fréquentiel**.

*Une grille d'auto-évaluation, identique à celle permettant d'évaluer les comptes-rendus de TP d'Optique, est fournie à la fin de ce document.*

## Paragraphe sur l'impact sociétal et environnemental

Votre compte-rendu devra également **intégrer un paragraphe autour de l'impact sociétal et environnemental** de l'utilisation des 3 composants utilisés : LED, photodiode et amplificateur opérationnel/linéaire intégré.

Ce paragraphe devra faire clairement ressortir les **précautions à prendre** pour la mise en œuvre de chacun de ces composants (grandeurs électriques limitantes), ainsi que leur **prix** et leur **impact carbone**.

Quelques ressources :

- <https://base-empreinte.ademe.fr/>
- <https://www.openlca.org/>
- <https://www.glimpact.com/european-global-impact-score>

## Autres activités - séances 3 à 5

Un **test individuel** est prévu en séance 3 ou 4 (voir planning fourni lors de la séance 2) et un **atelier par équipe** en séance 5.

*Pour ces activités, veuillez vous référer au site du LEnsE, dans la rubrique Année / Première Année / Opto-Electronique S5 / Modalités.*

## Objectif de la séance

Lors de cette première séance, vous allez :

- étudier un premier **montage de photodétection** et déterminer certaines de ses caractéristiques
- **caractériser statiquement le capteur** de ce montage, la photodiode
- **mettre en œuvre un montage d'amplification** basé sur un amplificateur linéaire intégré (ALI) et le **caractériser fréquemment et temporellement**

Vous allez également vous **familiariser avec l'utilisation des appareils de mesure** mis à votre disposition au cours des séances de Travaux Pratiques d'Opto-Électronique et **mettre en œuvre des protocoles expérimentaux standards** en photonique.

## Etude d'un montage simple de photodétection - Durée : 90 min

On s'intéresse au circuit de la figure 1 avec  $E = 5\text{ V}$  (tension continue), une photodiode de type **SFH206K** (documentation fournie dans le document annexe) et  $R_{PHD} = 100\text{ k}\Omega$  :

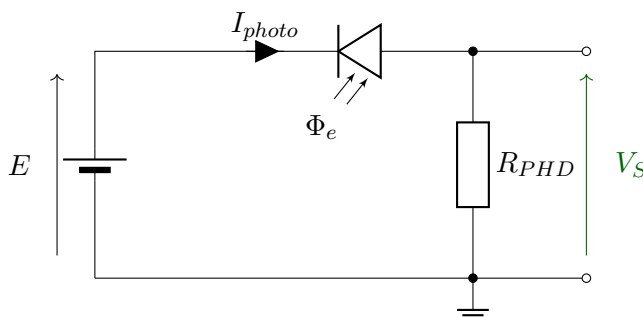


FIGURE 1 – Schéma du circuit de photodétection simple

On souhaite pouvoir remplir le tableau suivant (à reproduire dans votre cahier de laboratoire) :

Grandeur	Unité	Flux ambiant	Obscurité	Lampe de bureau
Intensité lumineuse $\Phi_e$				
Tension $V_S$				
Courant $I_{photo}$				

- Q Proposer des protocoles (avec les schémas associés incluant les appareils de mesure) pour remplir ce tableau.
- Q Quel est le lien entre la tension  $V_S$  et le flux lumineux mesuré  $\Phi_e$  ?
- M Câbler le montage ci-dessus, en incluant les instruments de mesure adéquats et relever les informations nécessaires pour le tableau précédent.

→ **Q** Chercher dans la documentation technique de la photodiode la valeur de la **sensibilité spectrale** et comparer le courant mesuré au courant théorique. Que pouvez-vous conclure ?

→ **M** Visualiser la tension aux bornes de  $R_{PHD}$  à l'aide d'un oscilloscope et comparer le signal observé au signal attendu.



## Etude statique d'une photodiode - Durée : 60 min

Le système de photodétection précédent inclus un **capteur particulier**, une photodiode, que nous allons à présent chercher à **caractériser statiquement**, c'est à dire de **tracer expérimentalement la loi mathématique** qui lie le courant traversant le dipôle et la différence de potentiel à ses bornes.

Nous utiliserons ici une méthode de tracer automatisée de la caractéristique statique.

### Ressources

- Fiche : Diode / LED / Photodiode
- Fiche : Photodétection
- Protocole : Caractéristique statique d'un dipôle / Caractéristique Automatisée

### Photodiode SFH206K

On utilisera une photodiode de type **SFH206K** (une partie de la documentation est fournie en annexe).

→ Q Rechercher et relever dans la documentation technique du constructeur de la photodiode SFH206K les valeurs intéressantes pour la mise en œuvre pratique (électrique et optique) d'un tel composant.

### Choix des appareils et des composants

Dans le schéma proposé dans la rubrique **Caractéristique Automatisée** du tutoriel *Caractéristique statique d'un dipôle*, une résistance  $R_P$  est proposée comme protection en courant et une résistance  $R_I$  comme élément de mesure du courant.

On choisira  $R_P = 270\ \Omega$  et  $R_I = 10\ \Omega$ . Le calcul de  $R_P$  sera étudié lors de la séance suivante.

→ M Relever la caractéristique  $i = f(u)$  de cette photodiode, lorsqu'elle est plongée dans l'obscurité, pour des tensions  $u$  positives ET négatives.

→ M Relever la caractéristique  $i = f(u)$  de cette photodiode, lorsqu'elle est soumise à un flux lumineux constant, pour des tensions  $u$  positives ET négatives. Quelle précaution faut-il prendre lors de cette mesure ?

→ M Déterminer les zones d'utilisation possible de ce composant. Quel modèle peut-on alors proposer pour ce capteur ?

### Validation des résultats

→ Préparer une présentation (3-4 min maximum) rassemblant les **schémas de mesure**, les **protocoles utilisés**, les **calculs réalisés**, les **résultats pertinents** obtenus ainsi qu'une **brève analyse** de ces derniers.

---

### Faire valider l'ensemble par un·e encadrant·e

Cette présentation devra clairement faire ressortir des preuves en lien avec :

- les compétences C3, C4 et C5
- les AAV du bloc 1

## Etude fréquentielle d'un montage amplificateur - Durée : 120 min

On se propose d'étudier le circuit **amplificateur inverseur** dont le schéma est donné dans la figure 2 :

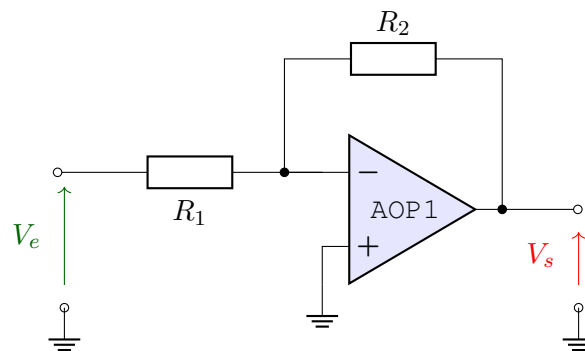


FIGURE 2 – Schéma d'un circuit amplificateur inverseur

Ce montage utilise un **amplificateur linéaire intégré (ALI)**. Pour ce TP, on choisira un ALI de type **TL081**.

On peut montrer que la fonction de transfert théorique d'un tel montage vaut :

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

On souhaite **vérifier que cette loi reste valable** quelque soit la fréquence et l'amplitude du signal d'entrée.

Pour cela, on souhaite pouvoir remplir le tableau suivant (à reproduire dans votre cahier de laboratoire) :

Gain (dB)	[A]mplification	$R_1$	$R_2$	[B]ande [P]assante	Produit [A].[BP]	$\Delta T_{95\%}$
12						
32						

où l'amplification correspond à  $\frac{V_s}{V_e}$ ,  $R_1$  et  $R_2$  les valeurs des résistances choisies, la bande-passante à  $-3$  dB et  $\Delta T_{95\%}$  est le temps de réponse à 95%.

### Ressources

- Fiche : Amplificateur Linéaire Intégré
- Fiche : Amplificateur Linéaire Intégré / Modèle
- Fiche : Régime Harmonique
- Fiche : Filtrage / Analyse Harmonique / Ordre 1
- Protocole : Réponse en fréquence d'un système linéaire / Procédure "classique"
- Protocole : Réponse indicielle d'un système linéaire

## Alimentation symétrique

Certains composants, notamment les amplificateurs linéaires intégrés, sont capables de traiter des différences de potentiel positives et négatives. Pour cela, il est nécessaire de les alimenter de manière symétrique, c'est-à-dire, avec deux sources de tension fournissant des tensions opposées, souvent notées  $+V_{CC}$ , pour l'alimentation positive, et  $-V_{CC}$ , pour l'alimentation négative.

→ Q A partir de la documentation technique, noter le câblage du composant **TL081** et les tensions d'alimentation maximales.

→ M Réaliser une **alimentation symétrique +10V / -10V** à partir des alimentations stabilisées disponibles et mettre en place un système de contrôle de ces tensions.

→ Q Quelles précautions faudra-t-il prendre sur la tension d'entrée de ce montage ?

## Réponse en fréquence

→ Q Quelles valeurs de résistances choisir pour obtenir un gain de 12 dB ? *La somme des résistances doit être comprise entre 10 k $\Omega$  et 50 k $\Omega$ .*

→ M Réaliser le montage précédent et alimenter le avec l'alimentation symétrique réalisée.

→ M Tracer le **diagramme de Bode en gain** de ce système pour des fréquences allant de 100 Hz à 1 MHz, à l'aide de mesure réalisée à l'oscilloscope.

→ Q Quelle était la réponse en fréquence attendue théoriquement ?

→ M Mesurer la bande-passante à  $-3$  dB de ce montage.

---

→ M Modifier la résistance  $R_1$  pour obtenir un gain de 32 dB.

→ M Tracer le **diagramme de Bode en gain** de ce système pour des fréquences allant de 100 Hz à 1 MHz, à l'aide de mesure réalisée à l'oscilloscope.

→ M Mesurer la bande-passante à  $-3$  dB de ce nouveau montage.

→ Q Préciser alors le modèle à utiliser pour ce montage.

## Réponse indicielle

→ M Pour les deux montages précédents, visualiser la réponse indicielle.

→ M Mesurer le temps de réponse à 95%.

→ Q Quel est le lien entre ce temps et la bande-passante mesurée dans la partie précédente ?

## Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ tableau comparatif rempli
- ☐ protocoles utilisés (avec schéma de câblage, paramètres des instruments de mesure et étapes expérimentales)
- ☐ diagrammes de Bode légendés
- ☐ captures d'écran d'oscilloscope des réponses indicielles
- ☐ analyse des résultats
- ☐ modélisation du système



## Objectif de la séance

Lors de cette seconde séance, vous allez :

- mettre en place un **banc de caractérisation** d'un montage de photodétection
  - **caractériser statiquement une LED**
  - **réaliser un émetteur de flux lumineux** basé sur une source à LED
- mettre en œuvre un **montage simple de photodétection** et le **caractériser fréquentiellement et temporellement**

## Premier modèle du montage de photodétection

Les premiers résultats obtenus lors de la précédente séance autour du montage simple de photodétection ont permis de conclure que ce type de montage permettait d'**obtenir une tension proportionnelle au flux lumineux**.

On peut montrer que la fonction de transfert théorique d'un tel montage vaut :

$$V_s = R_{PHD} \cdot I_{photo} = R_{PHD} \cdot k \cdot \Phi_e$$

où  $k$  est la sensibilité de la photodiode et  $\Phi_e$  le flux lumineux à mesurer.

## Validité du modèle

On souhaite **vérifier que cette loi reste valable** quelque soit la fréquence et l'amplitude du flux lumineux d'entrée.

Pour cela, on souhaite pouvoir remplir le tableau suivant (à reproduire dans votre cahier de laboratoire) et **mesurer la réponse en fréquence de ce montage** :

$R_{PHD}$	$ V_s _{MAX}$	[B]ande [P]assante	[BP]/ $R_{PHD}$
10 k $\Omega$			
100 k $\Omega$			
1 M $\Omega$			

où  $|V_s|_{MAX}$  est l'amplitude maximale du signal de sortie, [BP] est la bande-passante à  $-3$  dB du système et  $[BP]/R_{PHD}$  le rapport de la bande-passante sur la valeur de la résistance  $R_{PHD}$ .

## Nécessité d'une source lumineuse paramétrable

Afin de pouvoir étudier le montage de photodétection pour différentes fréquences, il est **indispensable** d'avoir à disposition **une source lumineuse dont la fréquence du flux lumineux est modifiable**.

## Etude statique d'une LED - Durée : 60 min

Nous allons chercher à **caractériser statiquement** une source lumineuse de type **LED**, c'est à dire **tracer expérimentalement la loi mathématique** qui lie le courant traversant le dipôle et la différence de potentiel à ses bornes.

### Ressources

- Fiche : Diode / LED / Photodiode
- Protocole : Caractéristique statique d'un dipôle / Caractéristique Manuelle

### LED Rouge

On utilisera une LED Rouge de type **Kingbright L-1503ID** (une partie de la documentation est fournie en annexe).

→ **Q** Rechercher et relever, dans la documentation technique du constructeur de la LED Rouge, les valeurs intéressantes pour la mise en œuvre pratique (électrique et optique) d'un tel composant.

### Choix des appareils et des composants

Dans le schéma proposé dans la rubrique **Caractéristique manuelle** du tutoriel *Caractéristique statique d'un dipôle*, une résistance  $R_P$  est proposée comme protection en courant.

→ **Q** Comment choisir cette résistance et comment régler les différents appareils de mesure ?

→ **M** Relever la caractéristique  $i = f(u)$  de cette LED pour des tensions  $u$  positives ET négatives.

→ **M** Déterminer les zones d'utilisation possible de ce composant.

### Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ protocoles utilisés (avec schéma de câblage, paramètres des instruments de mesure et étapes expérimentales)
- ☐ courbe de la caractéristique statique
- ☐ analyse de la courbe

## Réalisation d'un émetteur lumineux - Durée : 60 min

Afin de pouvoir caractériser en fréquence le montage de photodétection, nous allons avoir besoin d'un émetteur lumineux dont il est possible de **contrôler la fréquence du flux lumineux émis** (voir circuit sur la figure 3).

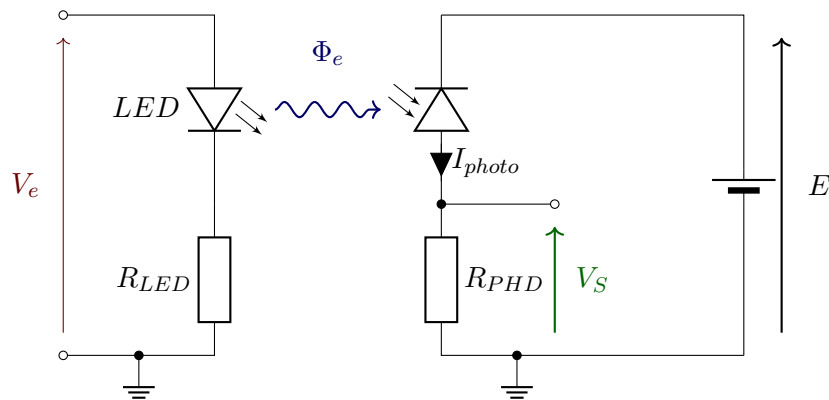


FIGURE 3 – Schéma du circuit émetteur (à gauche) et du circuit de photodétection simple (à droite)

où  $\Phi_e$  est le flux lumineux résultant de l'émetteur.

On souhaite un **flux lumineux sinusoïdal** dont il est possible de contrôler la fréquence de modulation. *Attention, on ne parle pas ici de la variation de la longueur d'onde de la source lumineuse mais bien de la modulation du flux lumineux en amplitude.*

→ Q Quel signal doit-on appliquer sur  $V_e$  ? Quels sont les paramètres à donner à ce signal (amplitude, valeur moyenne...) pour obtenir un flux lumineux sinusoïdal ?

→ Q A quoi correspond la résistance  $R_{LED}$  ? Comment vérifier que le flux est sinusoïdal (sans utiliser le montage de photodétection proposé puisqu'on ne connaît pas sa réponse en fréquence) ?

→ M Réaliser le système d'émission et vérifier son bon fonctionnement.

### Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ paramètres utilisés pour le générateur  $V_e$
- ☐ protocole de vérification de la forme du flux lumineux
- ☐ validation du fonctionnement (capture d'écran d'oscilloscope)

### Montage de photodétection - Rappel

Dans le circuit précédent, la partie de droite correspond au montage de photodétection que nous allons par la suite chercher à caractériser.

→ Q A quoi sert la tension  $E$  ? De quelle nature doit-elle être ?

→ Q Quelle fonction de transfert cherche-t-on à caractériser sur ce montage de photodétection ?

→ Q A-t-on accès directement à la valeur du flux lumineux  $\Phi_e$  ? De quoi dépend le flux lumineux reçu par la photodiode (en lien avec celui émis par la LED) ? Quelles seront alors les précautions à prendre lors des prochaines mesures ?

## Réponse en fréquence du montage - Durée : 120 min

On souhaite à présent **vérifier la validité du modèle proposé initialement** pour le montage simple de photodétection pour des flux lumineux modulés à différentes fréquences.

Pour cela, on placera le système émetteur devant le montage de photodétection à caractériser (voir schéma de la section précédente).

### Ressources

- Fiche : Photodétection
- Fiche : Filtrage / Analyse Harmonique / Ordre 1
- Protocole : Réponse en fréquence d'un système linéaire / Procédure "classique"
- Protocole : Mesure de bande-passante
- Protocole : Réponse indicielle d'un système linéaire

### Réponse en fréquence

→ M Placer le montage émetteur face au montage de photodétection (la LED en face de la partie sensible de la photodiode). Utiliser une résistance  $R_{PHD} = 100 \text{ k}\Omega$ .

→ M Tracer le **diagramme de Bode en gain** de ce système pour des fréquences allant de 100 Hz à 1 MHz, à l'aide de mesure réalisée à l'oscilloscope.

→ Q Quelle était la réponse en fréquence attendue théoriquement ?

→ M Mesurer la bande-passante à  $-3 \text{ dB}$  de ce montage.

→ M Refaire le tracé du diagramme de Bode et la mesure de la bande-passante pour des résistances  $R_{PHD} = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_{PHD} = 1 \text{ M}\Omega$

→ Q Conclure sur le modèle à utiliser pour ce montage.

### Validation des résultats

→ Préparer une présentation (3-4 min maximum) rassemblant les **schémas de mesure**, les **protocoles utilisés**, les **calculs réalisés**, les **résultats pertinents** obtenus ainsi qu'une **brève analyse** de ces derniers.

---

### Faire valider l'ensemble par un·e encadrant·e

Cette présentation devra clairement faire ressortir des preuves en lien avec :

- les compétences C3, C4 et C5
- les AAV du bloc 2



## Auto-évaluation - Durée : 120 min

Au cours de l'une des séances 3 ou 4, vous aurez à réaliser une **auto-évaluation pratique** selon le planning transmis par les responsables du module.

Cette auto-évaluation portera sur la **caractérisation statique d'un composant** et la **caractérisation en fréquence d'un système**.

Les modalités du module d'Opto-Electronique sont données sur le site Internet du LEnsE.

## Objectif des séances

Lors de ces séances, vous allez :

- utiliser le **banc de caractérisation** mis en place précédemment pour :
  - **caractériser fréquemment et temporellement** différents montages de photodétection
  - comparer les performances de chacun de ces montages

## Éléments à prendre en considération pour la modélisation

Afin d'expliquer le phénomène observé précédemment, il est possible d'affiner le modèle utilisé pour l'étude du montage précédent en prenant en compte les éléments "perturbateurs".

La figure 4 présente le schéma du modèle plus complet du circuit étudié précédemment.

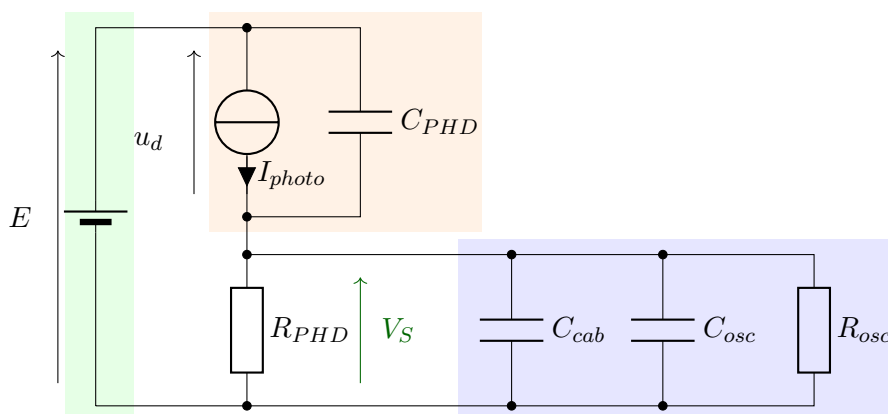


FIGURE 4 – Schéma du modèle équivalent du circuit de photodétection simple, incluant le système de mesure (oscilloscope et câble coaxial)

- Q A quoi correspondent les différents éléments présents ?
- Q A partir des mesures réalisées précédemment, comment remonter aux valeurs du modèle précédent ? Donner les valeurs des différents éléments qu'il est possible de calculer.

## Optimisation des performances / Démarche

Dans les **3 étapes** décrites par la suite, qui correspondent à une amélioration du montage de photodétection, vous devrez être en mesure de pouvoir **comparer les grandeurs caractéristiques de ces montages**.

### Comparaison des caractéristiques fréquentielles et temporelles

Vous devrez, en particulier, vous intéresser, pour chacun de ces systèmes, à :

- la **réponse en fréquence** en faisant varier la résistance  $R_{PHD}$  pour voir l'influence de ce paramètre sur leur **bande-passante** et la fréquence de résonance lorsqu'il y a lieu
- la **réponse à un échelon** (indicielle) en faisant varier la résistance  $R_{PHD}$  pour voir l'influence de ce paramètre sur le **temps de réaction** du système

Pour cela, on souhaite pouvoir remplir le tableau suivant (à reproduire dans votre cahier de laboratoire) et **mesurer la réponse en fréquence des quatre circuits** proposés (incluant le circuit simple de photodétection) :

$R_{PHD}$	$ V_s _{MAX}$	[B]ande [P]assante	[BP]/ $R_{PHD}$	Temps de réponse
10 k $\Omega$				
100 k $\Omega$				
1 M $\Omega$				

où  $|V_s|_{MAX}$  est l'amplitude maximale du signal de sortie, [BP] est la bande-passante à  $-3$  dB du système, [BP]/ $R_{PHD}$  le rapport de la bande-passante sur la valeur de la résistance  $R_{PHD}$  et le temps de réponse à 95% du système.

### Etape 0 / Circuit simple de photodétection

**Hypothèse** : une photodiode, dans sa zone de fonctionnement en capteur, produit un courant proportionnel au flux lumineux qu'elle reçoit

**Réalisation** : mise en série de la photodiode avec une résistance pour convertir le courant en une différence de potentiel mesurable et visualisable en fonction du temps

## Etape 1 / Suiveur

**Hypothèse** : l'ajout d'un suiveur permet d'isoler le circuit de mesure (oscilloscope et câbles) de la partie photodétection

**Réalisation** : mise en place d'un montage suiveur en cascade avec le montage simple de photodétection

**Résultats attendus** : augmentation de la bande-passante du système de photodétection (dépendance à  $R_{PHD}$ )

## Etape 2 / Transimpédance

**Hypothèse** : la mise en place d'un montage transimpédance permet d'isoler la photodiode du circuit de mesure (oscilloscope et câbles) et ainsi imposer un potentiel constant à ses bornes (limitant ainsi l'impact de la capacité intrinsèque de la photodiode)

**Réalisation** : mise en place du montage transimpédance

**Résultats attendus** : augmentation de la bande-passante du système de photodétection (dépendance à  $R_{PHD}$ ) mais apparition d'un modèle du second ordre

**Modélisation** : modélisation d'un système du second ordre (rebouclage d'un ALI avec un montage du premier ordre)

## Etape 3 / Transimpédance amélioré

**Hypothèse** : l'ajout d'une capacité dans le montage transimpédance permet de contrôler parfaitement la bande-passante et de supprimer la résonance du montage précédent

**Réalisation** : capacité en parallèle de la résistance de contre-réaction du montage

**Résultats attendus** : légère dégradation de bande-passante du système de photodétection (dépendance à  $R_{PHD}$ ) mais suppression de la résonance

## Etape 1 / Suiveur - Durée : 120 min

On se propose d'**améliorer les performances dynamiques** du montage précédent en ajoutant un **montage suiveur** (basé sur un amplificateur linéaire intégré) entre le montage simple et les éléments de mesure (oscilloscope). On souhaite également **vérifier les performances dynamiques** (réponse en fréquence notamment) de ce nouveau montage et conclure sur l'intérêt de l'ajout d'un étage suiveur.

### Ressources

Vous pouvez utiliser les fiches résumées suivantes :

- Protocole : Réponse en fréquence d'un système linéaire
- Protocole : Mesure de bande-passante
- Protocole : Réponse indicielle d'un système linéaire

### Montage

On se propose d'analyser le circuit de la figure 5, avec  $R_{PHD} = 100\text{ k}\Omega$ . L'amplificateur linéaire intégré sera alimenté à l'aide d'une alimentation symétrique  $+10\text{V} / -10\text{V}$ .

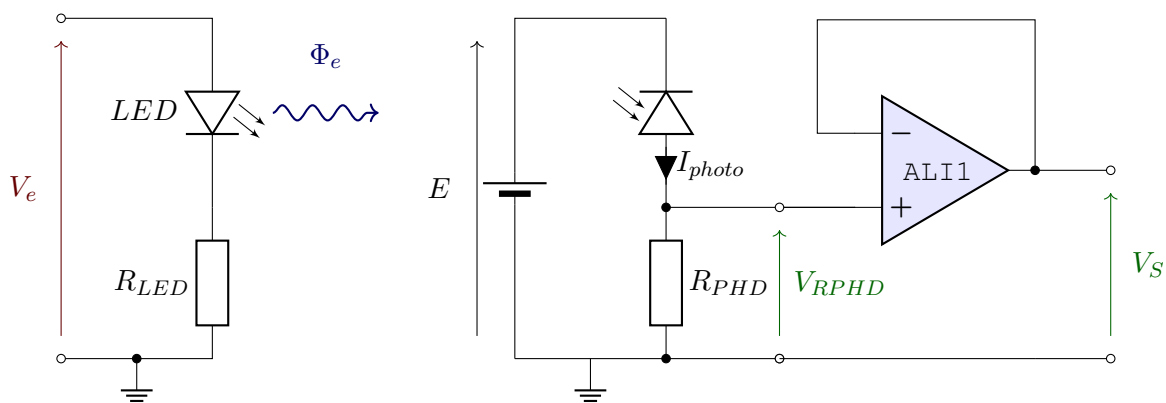


FIGURE 5 – Schéma du circuit émetteur (à gauche) et du circuit de photodétection incluant un circuit suiveur (à droite)

→ Q Quel est le lien entre  $V_S$  et  $V_{RPHD}$  ? Puis entre  $V_S$  et  $I_{photo}$  ? Puis entre  $I_{photo}$  et le flux lumineux capté par la photodiode  $\Phi_e$  ?

→ Q Quelle est la forme théorique de la réponse en fréquence de ce montage ?

### Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ protocoles utilisés (avec schéma de câblage, paramètres des instruments de mesure et étapes expérimentales)
- ☐ diagrammes de Bode
- ☐ captures d'écran des réponses à un échelon
- ☐ mesures des grandeurs caractéristiques (bande-passante, temps de réponse...)
- ☐ analyse des différents résultats pour 3 valeurs de  $R_{PHD}$  (10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  et 1 M $\Omega$ )
- ☐ éléments de modélisation et lien entre les grandeurs caractéristiques et la valeur de  $R_{PHD}$

## Etape 2 / Transimpédance - Durée : 120 min

On se propose d'étudier le montage transimpédance, un circuit très fréquemment utilisé pour la photodétection pour ses performances dynamiques. Ce montage est basé sur un amplificateur linéaire intégré également et permet d'augmenter la bande-passante des montages vus précédemment.

On souhaite donc **vérifier les performances dynamiques** (réponse en fréquence notamment) de ce nouveau montage et conclure sur son intérêt.

### Ressources

Vous pouvez utiliser les fiches résumées suivantes (en plus de celles de l'étape précédente) :

— Fiche : Filtrage actif / Analyse Harmonique / Ordre 2

Afin de faciliter la compréhension des phénomènes mis en jeu dans ce montage, vous pouvez vous reporter à la ressource : **Montage transimpédance : modélisation**.

### Montage

On se propose d'analyser le circuit de la figure 6, avec  $R_{PHD} = 100\text{ k}\Omega$ . L'amplificateur linéaire intégré sera alimenté à l'aide d'une alimentation symétrique  $+10\text{V} / -10\text{V}$ .

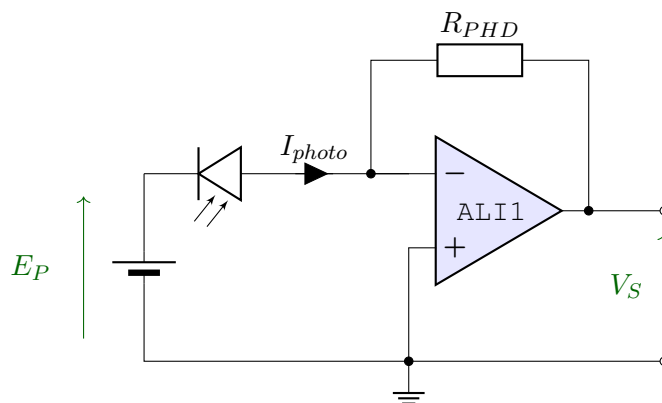


FIGURE 6 – Schéma du circuit de photodétection de type transimpédance

→ **Q** Quel est le lien entre  $V_S$  et  $I_{photo}$  ? Puis entre  $I_{photo}$  et le flux lumineux capté par la photodiode  $\Phi_e$  ?

### Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ protocoles utilisés (avec schéma de câblage, paramètres des instruments de mesure et étapes expérimentales)
- ☐ diagrammes de Bode
- ☐ captures d'écran des réponses à un échelon
- ☐ mesures des grandeurs caractéristiques (bande-passante, temps de réponse, fréquence de résonance...)
- ☐ analyse des différents résultats pour 3 valeurs de  $R_{PHD}$  (10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  et 1 M $\Omega$ )
- ☐ éléments de modélisation et lien entre les grandeurs caractéristiques et la valeur de  $R_{PHD}$

### Etape 3 / Transimpédance amélioré - Durée : 120 min

On se propose de **s'affranchir d'un des défauts majeur du montage transimpédance**, sa résonance. On souhaite donc **vérifier les performances dynamiques** (réponse en fréquence notamment) de ce nouveau montage et conclure sur son intérêt.

#### Montage

On se propose d'analyser le circuit de la figure 7, avec  $R_{PHD} = 100 \text{ k}\Omega$ . L'amplificateur linéaire intégré sera alimenté à l'aide d'une alimentation symétrique  $+10\text{V} / -10\text{V}$ .

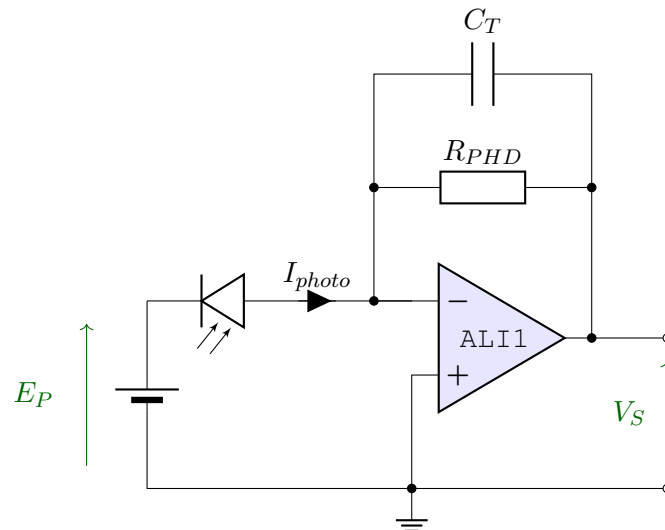


FIGURE 7 – Schéma du circuit de photodétection de type transimpédance, avec l'ajout d'une capacité pour supprimer la résonance

→ Q Quelle valeur de  $C_T$  faut-il pour éliminer le phénomène de résonance ?  
Vous pouvez vous reporter à la ressource : **Montage transimpédance : modélisation.**

#### Cahier de laboratoire / Check-List

- ☐ protocoles utilisés (avec schéma de câblage, paramètres des instruments de mesure et étapes expérimentales)
- ☐ diagrammes de Bode
- ☐ captures d'écran des réponses à un échelon
- ☐ mesures des grandeurs caractéristiques (bande-passante, temps de réponse, fréquence de résonance...)
- ☐ analyse des différents résultats pour 3 valeurs de  $R_{PHD}$  (10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  et 1 M $\Omega$ )
- ☐ éléments de modélisation et lien entre les grandeurs caractéristiques et la valeur de  $R_{PHD}$

Lors de cette dernière séance, vous aurez le choix parmi trois propositions.

Ce choix est laissé au libre arbitre des binômes en fonction de leurs besoins de consolider les connaissances expérimentales et théoriques sur la photodétection, de découvrir une application de la photodétection ou de mettre en oeuvre un système de régulation numérique.

## Sujet au choix

Au cours de cette dernière séance, vous aurez à choisir parmi l'une des trois possibilités suivantes :

- ☐ **consolider vos acquis** sur les travaux pratiques précédents autour de la **photodétection**
- ☐ mettre en place une **transmission de données par la lumière** basée sur de la modulation d'amplitude (idéalement à 2 binômes)
  - ▶ Analyse spectrale, mise en oeuvre d'un émetteur et d'un photodétecteur
- ☐ mettre en place un système de **régulation de température** incluant des aspects de traitement numérique de l'information
  - ▶ Etude d'un système numérique, mise en oeuvre d'un capteur de température, étude de la commande d'un moteur à courant continu










Les deux dernières propositions se basent partiellement sur des maquettes (en nombre limité) à étudier puis à compléter pour obtenir l'application souhaitée.

*Les sujets **Transmission par la lumière** et **Régulation de température** sont disponibles sur le site du LEnsE.*





## Compétences d'un-e ingénieur-e IOGS • 2025-2026

	C1.CE1	<b>Proposer des solutions originales, et les faire évoluer, en réponse à une demande, ou à des enjeux scientifiques et techniques des acteur-ices du monde industriel ou de la société dans son ensemble</b>	en mobilisant toutes les ressources nécessaires
	C1.CE2		en les appuyant sur des raisonnements scientifiques
	C1.CE3		en considérant leurs impacts environnementaux et sociétaux
	C2.CE1	<b>Concevoir et dimensionner une solution technologique pertinente, qui intègre des fonctionnalités optiques/photoniques</b>	en répondant à une problématique donnée (technique, fonctionnelle, économique, industrielle ou environnementale) et en respectant les contraintes associées
	C2.CE2		en utilisant des logiciels dédiés de simulation et de CAO
	C2.CE3		en identifiant les méthodes numériques pertinentes de traitement du signal ou de l'image
	C2.CE4		en établissant un cahier des charges technique en réponse à une demande client
	C3.CE1	<b>Réaliser et développer une solution technologique intégrant des fonctionnalités optiques/photoniques</b>	en mettant en oeuvre des moyens techniques et de l'instrumentation scientifique de pointe
	C3.CE2		en adoptant une démarche respectueuse de la sécurité et de l'intégrité des personnes
	C3.CE3		en mobilisant et en associant les ressources, moyens et compétences nécessaires à cette réalisation
	C3.CE4		en prenant en compte l'impact sociétal et environnemental des différents choix techniques
	C3.CE5		en documentant la démarche, les résultats et leur analyse
	C4.CE1	<b>Valider une solution technologique intégrant des fonctionnalités optiques/photoniques</b>	en définissant et mettant en oeuvre des protocoles de test pour des diagnostics pertinents et concluants
	C4.CE2		en caractérisant ses performances
	C4.CE3		en contrôlant la conformité à un cahier des charges selon des contraintes technologiques, budgétaires, sociétales et de mise en oeuvre
	C4.CE4		en s'assurant qu'elle répond aux attentes et aux besoins de sa hiérarchie, du client, ou de l'utilisateur-ice
	C5.CE1	<b>Extraire et Interpréter des informations et des données permettant de comprendre une situation ou un phénomène, et d'accompagner la prise de décision</b>	en synthétisant des données issues de mesures ou de simulations
	C5.CE2		en mettant en oeuvre des solutions de visualisation et de représentation adaptées et convaincantes
	C5.CE3		en enrichissant un propos par la mobilisation de ressources (état de l'art, autres sources, expertises) mettant en perspective une information
	C6.CE1	<b>Analyser et/ou modéliser un processus physique, un système ou un problème complexe</b>	en mobilisant son expertise acquise et sa connaissance de l'état de l'art
	C6.CE2		en réalisant des expériences physiques ou numériques et/ou un modèle analytique
	C6.CE3		en commentant les résultats, les limites et les incertitudes des modèles utilisés ou des expériences réalisées
	C7.CE1	<b>Travailler en équipe dans le cadre de projets de recherche, de développement, de production, de stratégie industrielle ou d'innovation.</b>	en prenant en compte ses propres compétences et celles présentes dans son environnement de travail.
	C7.CE2		en utilisant des outils de gestion et d'organisation du travail d'équipe
	C7.CE3		en adaptant et maîtrisant sa propre communication et en s'assurant de la qualité de celle associant tous-tes les acteur-ices du projet
	C7.CE4		en identifiant les ressources internes ou externes (humaine, financières, techniques, technologiques...) nécessaires à la réalisation du projet
	C8.CE1	<b>Communiquer au sujet de son projet, tant en interne qu'en externe</b>	en produisant un contenu original sous forme écrite, orale ou multimédia, en français et en anglais, adapté au niveau d'expertise de ses interlocuteurs-trices
	C8.CE2		en interagissant de manière adaptée au niveau d'expertise de ses interlocuteurs et en intégrant la prise en compte de la dimension interculturelle dans sa démarche, son expression et son attitude
	C9.CE1	<b>Adapter ses pratiques et ses compétences dans un environnement en évolution constante et rapide</b>	en s'appuyant sur un processus réflexif (autoévaluation)
	C9.CE2		en suscitant les interactions avec ses pair-es et collaborateur-ices
	C9.CE3		en prenant en compte l'impact et le contexte sociétal et environnemental de son activité
	C9.CE4		en adoptant une démarche éthique et inclusive

## C3 • Réaliser et développer



Réaliser et développer une solution technologique intégrant des fonctionnalités optiques/photoniques

Dimensions d'évolution : Autonomie et efficacité de réalisation

2025 - 2026

	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 1
	Sans guide et de façon efficace	Avec guide et de façon efficace	Avec guide
<b>C3.CE1</b> <b>en mettant en oeuvre des moyens techniques et de l'instrumentation scientifique de pointe</b>	<input type="checkbox"/> motive le choix le matériel  <input type="checkbox"/> choisit un protocole adapté	<input type="checkbox"/> utilise les fonctionnalités avancées et pertinentes du matériel  <input type="checkbox"/> applique un protocole donné en temps limité	<input type="checkbox"/> utilise les fonctionnalités de base des matériels à disposition  <input type="checkbox"/> suit un protocole donné
<b>C3.CE2</b> <b>en adoptant une démarche respectueuse de la sécurité et de l'intégrité des personnes</b>	<input type="checkbox"/> liste les mesures de sécurité adaptées  <input type="checkbox"/> les met en oeuvre de manière systématique	<input type="checkbox"/> respecte les mesures de sécurité habituelles  <input type="checkbox"/> repère les moments ou les lieux à risque	<input type="checkbox"/> respecte les mesures de sécurité indiquées
<b>C3.CE3</b> <b>en mobilisant et en associant les ressources, moyens et compétences nécessaires à cette réalisation</b>	<input type="checkbox"/> explicite les ressources, les moyens, et les compétences nécessaires et suffisantes  <input type="checkbox"/> extrait de documents les informations utiles	<input type="checkbox"/> liste les ressources, les moyens, et les compétences utiles  <input type="checkbox"/> extrait des documents fournis les informations utiles	<input type="checkbox"/> reconnaît les ressources et les moyens mis à disposition  <input type="checkbox"/> extrait des documents fournis des informations ciblées
<b>C3.CE4</b> <b>en prenant en compte l'impact sociétal et environnemental des différents choix techniques</b>	<input type="checkbox"/> fait des choix de matériels et/ou de consommables les plus respectueux de l'environnement, et dont l'impact sociétal est contrôlé <input type="checkbox"/> met en place une procédure permettant d'éviter le gaspillage ou de recycler des matériels et/ou consommables	<input type="checkbox"/> quantifie les impacts environnementaux (Bilan GES, etc) d'une solution technologique  <input type="checkbox"/> liste les procédures mises en place dans le cadre de la RSE et applique celles qui sont pertinentes	<input type="checkbox"/> applique des procédures mises en place dans le cadre de la RSE.
<b>C3.CE5</b> <b>en documentant la démarche, les résultats et leur analyse</b>	<input type="checkbox"/> alimente un cahier de laboratoire avec toutes les informations pertinentes  <input type="checkbox"/> rédige un rapport scientifique (ou support autre) dans les standards liés au contexte.	<input type="checkbox"/> rédige un rapport d'expérience (ou support autre) en faisant de choix de plan  <input type="checkbox"/> prend des notes et relève des mesures pertinentes de façon rigoureuse	<input type="checkbox"/> rédige un compte-rendu d'expérience en respectant un plan donné  <input type="checkbox"/> prend des notes et relève les informations et mesures, indiquées de façon rigoureuse



**Valider** une solution technologique intégrant des fonctionnalités optiques/photoniques

Dimension d'évolution : Qualité et Efficacité  
(optimalité ou exhaustivité)

2025 - 2026

	Niveau 4	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 1
	Rigueur & optimalité	Ebauche & optimalité	Rigueur	Ébauche
<b>C4.CE1</b> en définissant et mettant en oeuvre des protocoles de test pour des diagnostics pertinents et concluants	<input type="checkbox"/> Rédige les protocoles de test détaillés nécessaires. <input type="checkbox"/> Met en oeuvre les tests nécessaires et suffisants de manière optimale	<input type="checkbox"/> Choisit un protocole de test optimal <input type="checkbox"/> Met en oeuvre des tests d'une partie des fonctionnalités de manière optimale	<input type="checkbox"/> Choisit un protocole existant de test de manière argumentée. <input type="checkbox"/> Réalise des tests précis et rigoureux d'une partie des fonctionnalités	<input type="checkbox"/> Etablit les grandes lignes d'un protocole de test <input type="checkbox"/> Réalise un test sommaire d'une partie des fonctionnalités
<b>C4.CE2</b> en caractérisant ses performances	<input type="checkbox"/> Quantifie les performances dans leur ensemble avec une indication fiable des incertitudes sur les valeurs données.	<input type="checkbox"/> Mesure les grandeurs nécessaires et suffisantes à la caractérisation.	<input type="checkbox"/> Mesure des grandeurs caractéristiques des performances avec des estimations fiables des incertitudes.	<input type="checkbox"/> Mesure des grandeurs caractéristiques des performances
<b>C4.CE3</b> en contrôlant la conformité à un cahier des charges selon des contraintes technologiques, budgétaires, sociétales et de mise en oeuvre	<input type="checkbox"/> Rédige une analyse exhaustive de la conformité, appuyée par des données quantitatives	<input type="checkbox"/> Rédige une analyse exhaustive et préliminaire des résultats des tests.	<input type="checkbox"/> Rédige une analyse partielle de la conformité, appuyée par des données quantitatives	<input type="checkbox"/> Rédige une analyse partielle et préliminaire des résultats des tests.
<b>C4.CE4</b> en s'assurant qu'elle répond aux attentes et aux besoins de sa hiérarchie, du client, ou de l'utilisateur-ice	<input type="checkbox"/> Sollicite de façon structurée et systématique des retours des client-es, de la hiérarchie ou des utilisateur-ices.	<input type="checkbox"/> Sollicite des retours des client-es, de la hiérarchie ou des utilisateur-ices.	<input type="checkbox"/> Rédige une analyse globale de la conformité aux besoins	<input type="checkbox"/> Rédige une brève auto-analyse de la conformité aux besoins

C5 • Extraire et Interpréter



Extraire et Interpréter des informations et des données permettant de comprendre une situation ou un phénomène, et d'accompagner la prise de décision

Dimension d'évolution : Complexité et Univers			Niveau 3	Niveau 2	Niveau 1
2025 - 2026			Complexité et hétérogénéité	Simplicité et hétérogénéité	Simplicité et homogénéité
C5.CE1	en synthétisant des données issues de mesures ou de simulations	Produit des données réduites	<input type="checkbox"/> par un procédé à plusieurs étapes et à partir de données hétérogènes	<input type="checkbox"/> par un procédé à plusieurs étapes et à partir de données homogènes	<input type="checkbox"/> par un procédé simple (moyennage, etc.) et pour des données homogènes
C5.CE2	en mettant en œuvre des solutions de visualisation et de représentation adaptées et convaincantes	Produit des graphiques scientifiques	<input type="checkbox"/> multi-paramètres et incluant la visualisation des incertitudes	<input type="checkbox"/> incluant la visualisation des incertitudes	<input type="checkbox"/> d'évolution de grandeurs indépendantes en fonction d'un paramètre
C5.CE3	en enrichissant un propos par la mobilisation de ressources (état de l'art, autres sources, expertises) mettant en perspective une information	Justifie une interprétation des données traitées	<input type="checkbox"/> avec de multiples arguments issus de ressources externes	<input type="checkbox"/> avec quelques arguments issus de ressources externes	<input type="checkbox"/> avec quelques arguments simples

## Grille d'évaluation de la qualité des compte-rendus de TP - Cycle Ingénieur 1ère année

Critère	Éléments observables		Manifeste		Attendu	Perfectible	Non observable
Problématique et démarche	Énoncé de la problématique	<input type="checkbox"/>	Problématique claire, présentée dans l'introduction, rappelée dans le corps du document et dans la conclusion.	<input type="checkbox"/>	Problématique présentée dans l'introduction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	et reprise dans la conclusion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Structure du document	<input type="checkbox"/>	Plan apparent et pertinent. Démarche bien mise en évidence.	<input type="checkbox"/>	Plan apparent (paragraphe numérotés et hiérarchisés)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Contenu	<input type="checkbox"/>	Des résultats supplémentaires sont présentés dans le document. Présence de schémas/ dessins/photos réutilisables.	<input type="checkbox"/>	Toutes les mesures et tous les réglages effectués en séance sont décrits dans le document.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Toutes les courbes et figures ont un titre et sont citées dans le corps du texte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Les éventuels éléments externes sont clairement crédités.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cohérence de l'exposé	<input type="checkbox"/>	Cohérence et rigueur de l'introduction, de la conclusion et des paragraphes d'analyse des résultats.	<input type="checkbox"/>	Fil conducteur rigoureux, apparent.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mesures et réglages	Relevés expérimentaux	<input type="checkbox"/>	Motivation argumentée des protocoles utilisés. Présentation des réglages et/ou des mesures brutes avec leur incertitudes	<input type="checkbox"/>	Présentation précise : des protocoles suivis,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	des mesures brutes avec leur incertitudes, et/ou des réglages.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Éléments de preuve	<input type="checkbox"/>	Présence d'éléments de preuve (copie d'écran, photos, etc) en nombre adapté.	<input type="checkbox"/>	Présence de quelques éléments de preuve (copie d'écran, photos, etc).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Traitement des mesures	<input type="checkbox"/>	Justification argumentée du choix des traitements éventuels des données.	<input type="checkbox"/>	Traitement éventuel des mesures explicité dans le texte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Incertitudes de mesures			<input type="checkbox"/>	Evaluation justifiée des incertitudes de mesure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyse	Résultats	<input type="checkbox"/>	Résultats de mesure corrects ou pointage et analyse des erreurs manifestes	<input type="checkbox"/>	Résultats de mesure corrects ou pointage des erreurs manifestes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Courbes éventuelles au format scientifique (axes, unités, légendes, titre, incertitudes, courbes de tendance).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Modèle	<input type="checkbox"/>	Comparaison argumentée à un modèle.	<input type="checkbox"/>	Éléments de comparaison à un modèle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Critique	<input type="checkbox"/>	Critique argumentée du protocole et du modèle	<input type="checkbox"/>	Éléments de critique du protocole ou du modèle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Erreurs	<input type="checkbox"/>	Analyse des erreurs commises	<input type="checkbox"/>	Pointage des erreurs commises.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conclusion	Synthèse	<input type="checkbox"/>	Paragraphe de conclusion reprenant les principaux résultats et leur apport à la problématique et présentant des perspectives	<input type="checkbox"/>	Paragraphe de conclusion reprenant les principaux résultats	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	et leur apport à la problématique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bilan des acquis d'apprentissage	<input type="checkbox"/>	Acquis d'apprentissage listés et comparés à ceux visés par la séance	<input type="checkbox"/>	Acquis d'apprentissage listés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Format		<input type="checkbox"/>	Document synthétique (nombre de pages limité).	<input type="checkbox"/>	Nom des membres du binôme, numéro de binôme, titre du TP présents sur la première page.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Nom du fichier respectant le format demandé. Nombre de pages inférieur à 10.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Nombre de pages inférieur à 10.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# Grille d'auto-évaluation des compétences expérimentales - Semestre 5

## Opto-Electronique / Test Individuel

version du

26 septembre 2024

	A	B	C	D
<b>Démarche</b>	J'ai choisi le protocole adapté parmi ceux que j'ai déjà réalisé de façon autonome et argumentée.	J'ai choisi le protocole adapté mais sans pouvoir justifier son choix.	J'ai choisi partiellement le protocole adapté avec une aide extérieure pour l'établir.	Le protocole adapté m'a été fourni par une aide extérieure.
<b>Protocole et instrumentation</b>	J'ai mis en oeuvre protocole de manière rigoureuse et précise dans un temps raisonnable sans aide extérieure.	J'ai mis en oeuvre le protocole avec soin avec de l'aide à une seule étape.	J'ai mis en oeuvre le protocole avec de l'aide à plusieurs étapes.	Je n'ai pas su mettre en oeuvre le protocole établi, même avec de l'aide.
<b>Réalisation / Prototypage</b>	J'ai réalisé un circuit fiable qui permet de repérer les erreurs et de modifier les paramètres (longueur et couleur des fils adaptées, connexions robustes, accès aux composants).	J'ai réalisé un circuit fonctionnel et fiable, avec de l'aide pour la validation du circuit.	J'ai construit un circuit fonctionnel de faible fiabilité, de façon autonome.	Je n'ai pas su construire un circuit fonctionnel de façon autonome.
<b>Résultats expérimentaux</b>	J'ai obtenu des résultats cohérents avec les attentes initiales et en justifiant les écarts possibles.	J'ai obtenu des résultats corrects mais sans incertitudes fiables.	J'ai obtenu des résultats approximatifs et sans pouvoir justifier les erreurs potentielles.	Je n'ai pas obtenu de résultats quantitatifs exploitables.
<b>Analyse</b>	J'explique de manière pertinente les résultats expérimentaux à l'aide d'un modèle physique.	J'explique partiellement les résultats expérimentaux à l'aide d'un modèle physique.	J'ai une vague idée d'un modèle physique permettant d'expliquer mes résultats, sans argumentaire précis.	Je ne sais pas interpréter les résultats obtenus.

Des preuves sont attendues pour chacun des critères mentionnés précédemment (démarche, protocoles mis en oeuvre, réglages des appareils de mesure, capture d'écran d'oscilloscope...)