

Université Cheikh Anta Diop



**Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de
la Formation
(FASTEF)**

DEPARTEMENT DE SCIENCES PHYSIQUES

**FORMATION DES PROFESSEURS DE
L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE**

SOUS-SECTION F1B2 (Niveau Maîtrise + 2 an)

Année académique 2013 / 2014

COURS DE PHYSIQUE

**ETUDE DU PROGRAMME DE
PHYSIQUE DE TERMINALE S**

Auteur du module :

Mamadi BIAYE

*Formateur, Professeur Titulaire des
Universités en Physique Atomique
Département de Sciences Physiques
Faculté des Sciences et Technologies
de l'Education et de la Formation
(FASTEF)*

**Tel. Domicile : 33 836 32 31
Portable : 77 323 74 50**

**Email : yalabiye@gmail.com
mamadi.biaye@ucad.edu.sn**

1. Justification / importance du cours

Ce module s'insère dans un programme de formation des enseignants. Il permet d'asseoir les compétences de base nécessaires à une meilleure pratique de classe dans la conduite d'une leçon de Physique des classes de Terminales S. Ce module permet aussi non seulement au stagiaire de mieux comprendre le programme qu'il doit enseigner mais aussi de l'utiliser dans la confection des fiches de leçons.

2. Présentation du cours

Ce module d'étude de programme de Terminales S est destiné aux étudiants, enseignants vacataires et contractuels de niveau Maîtrise de physique et chimie en deuxième année de formation professionnelle à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation (FASTEF) de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar. Ce cours comporte deux chapitres. Le chapitre 1 intitulé « Rappels » porte sur les caractéristiques d'un programme d'enseignement-apprentissage d'une discipline donnée et en particulier celui du programme de physique de Terminale S, l'élaboration d'une fiche pédagogique, l'étude de certains concepts transversaux tels que les objectifs pédagogiques et les compétences ainsi des concepts disciplinaires tels que les grandeurs physiques. Le chapitre 2 intitulé « Etude de cas » passe en revue quelques chapitres bien ciblés de physique de Terminale S compte tenu non seulement de leur importance (place dans le programme de Terminales S), mais aussi du fait qu'ils contiennent certaines notions plus difficiles à enseigner. Dans chaque chapitre un certain nombre d'activités d'apprentissage sont prévues.

3. Plan sommaire du cours

Chapitre 1. Rappels

- 1.1. Caractéristiques d'un programme d'enseignement apprentissage**
- 1.2. Elaboration d'une fiche pédagogique**
- 1.3. Les objectifs pédagogiques**
- 1.4. Les grandeurs physiques**

Chapitre 2. Etudes de cas

Chapitre 1. Rappels

1.1. Caractéristiques d'un programme d'enseignement-apprentissage

- Après une partie introductive axée sur le contexte d'enseignement (historique et rappel de ce qui est fait au primaire par exemple) ainsi que sur la démarche et les enjeux de la discipline, **un tableau listant les thèmes d'étude** est présenté. Il répertorie :
 - **les connaissances précises** que doit acquérir l'élève sur le thème, des exemples très précis sont parfois fournis ;
 - **les démarches pour ce faire** : le programme expose la méthode la plus adaptée à chaque connaissance, donne même des exemples de ce qui peut être étudié ;
 - **les capacités** que doit développer l'élève et qui doivent être évaluées.
- Il définit également **un horaire d'enseignement global** ainsi qu'un temps d'enseignement pour chaque thème.
- Le programme peut être **plus ou moins précis**, des pages entières peuvent être consacrées à l'exposition de la démarche pédagogique et de l'enjeu de la discipline, surtout en cas de réforme de tous les programmes. Il indiquera toujours l'esprit de l'enseignement et sa finalité, et fournira un tableau avec la liste des savoirs et un volume horaire.
- **L'esprit et la finalité de l'enseignement** aident les auteurs à imaginer le concept du manuel. La liste des savoirs et des capacités à évaluer serviront de plan au manuel qui calquera sa structure sur les tableaux du programme. Ce plan proportionnera le nombre de pages de chaque élément du manuel.

1.2. Elaboration d'une fiche pédagogique

Une fiche pédagogique comprend essentiellement :

- Titre du sujet
- Partie administrative
- Pré-requis
- Objectifs spécifiques
- Concepts clés
- Activités préparatoires à donner avant le début du cours (s'il y a lieu)
- Liste des expériences
- Plan

- Déroulement possible (en détail) et traces écrites
- Evaluation formative (énoncés et corrigés)
- Références bibliographiques / web graphiques

1.3. Les objectifs pédagogiques

1.3.1. Définitions

Un objectif est un énoncé d'intention décrivant le résultat attendu à la suite d'une action.

En pédagogie, un objectif est un énoncé d'intention décrivant ce que l'apprenant saura (ou saura faire) après un apprentissage.

Les objectifs sont normalement dérivés des finalités de l'éducation et des objectifs généraux de formation, lesquels se décomposent en objectifs intermédiaires de différents niveaux, puis en objectifs spécifiques.

Les caractéristiques de chaque niveau d'objectifs :

a) Une finalité

C'est une affirmation de principe à travers laquelle une société ou un groupe social identifie et véhicule ses valeurs. Elle fournit des lignes directrices à un système éducatif et des manières de dire au discours sur l'éducation

Ex.

b) Un but

C'est un énoncé définissant de manière générale les intentions poursuivies soit par une institution, soit par une organisation, soit par un groupe, soit par un individu à travers un programme ou une action de formation

Ex

c) Un objectif général

C'est un énoncé d'intention pédagogique relativement large ; l'objectif général peut être également appelé objectif terminal d'intégration. Il décrit une compétence ou un ensemble de compétences que l'apprenant doit posséder au terme d'une séquence d'apprentissage.

Ex.

d) Un objectif spécifique

Il est issu de la démultiplication d'un objectif général. C'est une activité visible, une réaction observable et évaluable que l'enseignant souhaite voir se manifester chez l'apprenant. Il s'agit donc de la description d'un ensemble de comportements (performances) qu'un enseignant désire voir l'apprenant capable de réaliser.

Pour formuler clairement un objectif spécifique, MAGER propose les critères suivants :

- Décrire le comportement : comportement est synonyme d'action observable. Il faut décrire ce que l'apprenant sera capable de réaliser pour prouver qu'il a atteint l'objectif. C'est une règle de formulation obligatoire.
- Décrire les conditions : MAGER recommande de spécifier le contexte, les conditions dans lesquelles devra se manifester ce comportement. Le fait de préciser ces conditions permet de mieux cerner, de mieux limiter la portée de l'objectif. Les conditions peuvent être des précisions (« étant donné... »), des autorisations (« avec l'aide de... »), des restrictions (« sans aucune référence »).
- Préciser un seuil de réussite : Pour MAGER, la précision d'un critère de performance peut accroître la clarté d'un objectif spécifique. Le fait de préciser la performance minimale permet de juger de l'atteinte des objectifs. MAGER propose de spécifier la performance minimale acceptable en précisant par exemple un temps limite ou en indiquant un pourcentage de bonnes réponses.

Ex.

Par ailleurs, en d'autres termes, LANDSHERE estime qu'un objectif précis doit satisfaire les cinq exigences opérationnelles suivantes :

- 1) Qui produira le comportement souhaité ?
- 2) Quel comportement observable démontrera que l'objectif est atteint ?
- 3) Quel sera le produit de ce comportement (performance) ?
- 4) Dans quelles conditions le comportement doit-il avoir lieu ?
- 5) Quels critères serviront à déterminer si le produit est satisfaisant ?

EX.**1.3.2. Formulation des objectifs pédagogiques**

Sur le plan de la formulation des objectifs, deux éléments sont à considérer. D'une part, cet objectif porte sur une partie principale de la matière enseignée, d'autre part, l'objectif est associé à l'une ou l'autre des taxonomies : il doit refléter un des différents niveaux taxonomiques selon l'intention de celui qui le formule. Pour permettre de mieux cerner la nature de ce qui est attendu, il s'est développé des taxonomies qui portent sur l'un ou l'autre des domaines du savoir : le domaine cognitif concerne les connaissances et les habilités intellectuelles, le domaine affectif est associé aux attitudes, aux valeurs, aux intérêts, aux représentations, le domaine psychomoteur concerne les habilités motrices. Le verbe utilisé traduit cette intention.

a) Définition d'une taxonomie

La taxinomie (ou taxonomie) est la science qui a pour objet de décrire les organismes vivants et de les regrouper en entités appelées taxons afin de les identifier puis les nommer et enfin les classer. Elle complète la systématique qui est la science qui organise le classement des taxons et leurs relations. La taxonomie était utilisée à ses débuts en biologie. Elle s'étend maintenant à d'autres disciplines, entre autres les sciences humaines, les sciences de l'information, la pédagogie, la didactique, etc...

En pédagogie, la taxonomie est un outil de traitement d'un cours dans une perspective d'évaluation. On parle ainsi de taxonomie d'objectifs pédagogiques pour classer les niveaux de définition de ces objectifs.

Une taxonomie comprend :

- un principe de classement d'objectifs.
- une classification hiérarchisée qui met en œuvre ce principe en produisant des catégories.
- des exemples illustrant ces catégories.

Une taxonomie permet, lorsqu'on veut organiser un cours de façon à pouvoir évaluer la progression chez les apprenants, de :

- Construire une table de spécification qui permet, en appliquant sa classification à un contenu, de déduire des objectifs comportementaux évaluables.
- Analyser des objectifs déjà existants.
- Hiérarchiser ces objectifs et donc graduer la progression du cours.

b) La taxonomie de BLOOLM

Benjamin BLOOM, célèbre docimologue américain, il est le père de la première classification hiérarchisée ou taxonomie des objectifs pédagogiques : la taxonomie du domaine cognitif de BLOOM (1956)

Le domaine cognitif recouvre tout ce qui fait essentiellement appel à la connaissance, aux activités intellectuelles, aux démarches de pensée.

On y distingue 6 niveaux (catégories) hiérarchisés, chacun caractérisant des activités intellectuelles de plus en plus complexes :

1. **Connaissance** (mémorisation et restitution d'informations dans les mêmes termes)
2. **Compréhension** (restitution du sens des informations dans d'autres termes).
3. **Application** (utilisation de règles, principes ou algorithmes pour résoudre un problème, les règles n'étant pas fournies dans l'énoncé).
4. **Analyse** (identification des parties constituantes d'un tout pour en distinguer les idées).
5. **Synthèse** (réunion ou combinaison des parties pour former un tout).
6. **Evaluation** (formulation de jugements qualitatifs ou quantitatifs).

Remarques :

Les deux premiers niveaux sont dits « inférieurs » car ils traitent d'opérations intellectuelles presque automatisées.

Les quatre derniers niveaux sont dits « supérieurs » parce qu'ils abordent des actes intellectuels complexes mettant en jeu toutes les opérations précédentes.

Une telle hiérarchisation ne va pas sans poser problème, notamment pour les niveaux 4, 5 et 6 (analyse, synthèse, évaluation), car il est extrêmement difficile de séparer, dans une réponse donnée, ce qui relève de l'analyse, de la synthèse ou de l'évaluation.

c) Comment formuler un objectif pédagogique ?

Les enseignants, quand il leur arrive de définir leurs objectifs, ont une prédilection marquée pour des verbes ne renvoyant pas toujours à des comportements observables. Il faut par conséquent savoir à quel niveau « taxonomique » l'enseignant intervient ou conçoit son enseignement.

En d'autres termes, l'enseignant est-il dans un enseignement mentaliste ou comportemental (procédural) ?

Le tableau ci-dessous met en évidence la différence entre objectifs mentalistes et objectifs comportementaux :

Objectifs mentalistes	Objectifs comportementaux
Comprendre	
Connaître	
Savoir	

Remarques :

Dans la formulation d'un objectif, il faut mettre un seul verbe.

Voici une liste de verbes :

Activités non observables ou mentalistes	Activités observables ou « comportementales »
Faire confiance, apprécier, croire, imaginer, se familiariser, saisir la portée, connaître, comprendre, savoir, saisir le sens de..., prendre plaisir à, étudier, penser, accepter...	Écrire, énoncer, nommer, énumérer, étiqueter, dessiner, choisir, décrire, résoudre, réciter, identifier, opposer, composer, désigner, couper, classer, calculer, ...

L'énoncé de l'objectif doit être écrit de telle sorte que la performance soit observable. Le choix du verbe est capital. Pour cela, on doit :

- **Proscrire les verbes dont les significations sont multiples, imprécises ou abstraites** : Savoir, connaître, comprendre, observer, apprécier, saisir le sens, intérioriser, réfléchir, ...

Ces verbes ne sont pas suffisamment précis pour définir clairement ce que nous attendons de l'élève en fin de séquence. Ils font référence à une démarche mentale que nous ne pouvons évaluer.

- **Employer des verbes d'action** :

Pour vérifier que l'apprenant sait, comprend, analyse, apprécie, etc., il est nécessaire, lors de la rédaction de l'objectif, d'employer des verbes d'action qui illustrent concrètement ce que l'apprenant doit faire.

Exemples : lorsque l'objectif porte sur :

La connaissance	La compréhension	L'application	L'analyse	La synthèse	L'évaluation
Citer	Démontrer	Adapter	Décomposer	Assembler	Justifier en...
Copier	Déterminer	Appliquer	Diviser	Construire	Evaluer selon les critères suivants...
Décrire	Expliquer	Employer	Extraire	Créer	Optimiser...
Définir	Interpréter	Etablir	Rechercher	Produire	Vérifier par...
Désigner	Préciser	Mettre en œuvre	Simplifier	Rassembler	Enumérer par ordre de...
Inscrire	Trouver	Poser	Séparer	Remettre en ordre	Interpréter
Nommer	Résumer	Représenter	Identifier	Réorganiser	...
Sélectionner	Traduire	Utiliser
...

Cette liste n'est pas exhaustive. D'autre part, il est souvent nécessaire au moment de l'évaluation, de rendre la performance encore plus explicite en faisant suivre le verbe d'un indicateur de performance (de réussite) :

Exemples :

- Désigner en cochant...
- Expliquer à l'aide d'exemples...
- Identifier en coloriant...
- Evaluer selon les critères suivants...

d) **Taxonomie et comportement observable**

D'après B. BLOOM [], la classification des finalités cognitives se décline en 6 catégories fondamentales :

Catégories	C'est...
Connaître	Définir, distinguer, acquérir, identifier, rappeler, reconnaître...
Comprendre	Traduire, illustrer, représenter, dire avec ses mots, distinguer, réécrire, réarranger, expliquer, démontrer...
Appliquer	Appliquer, généraliser, relier, choisir, développer, utiliser, employer, transférer, classer, restructurer...
Analyser	Distinguer, détecter, classer, reconnaître, catégoriser, déduire, discerner, comparer...
Synthétiser	Ecrire, relater, produire, constituer, transmettre, modifier, créer, proposer, planifier, projeter, spécifier, combiner, classer, formuler...
Évaluer	Juger, argumenter, valider, décider, comparer...

e) **« savoir, savoir-faire et savoir-être »**

Pour décrire les buts de l'enseignement-apprentissage, il est nécessaire de rédiger les objectifs en utilisant des verbes d'action. Ensuite on classe ces objectifs en trois catégories : savoir, savoir-faire et savoir-être. Ces trois expressions sont fréquemment utilisées par la pédagogie par objectifs. Le mot « savoir » y apparaît trois fois. C'est un mot noble et très important. « Mais attention ! C'est un terme dangereusement ambigu », comme le dit Jean-Jacques GILBERT dans son ouvrage intitulé : « Guide pédagogique pour les personnels de santé » (OMS publication offset n°35, 6^e édition,

1990). Ces trois expressions proviennent de l'adaptation en français des expressions « Knowledge, skills and attitudes » utilisées par les éducateurs anglophones et dont l'ambiguïté est aussi grande. Cette ambiguïté porte préjudice à la bonne qualité de la formation car elle influence négativement la clarté des objectifs pédagogiques. Cette ambiguïté se traduit par la diversité des définitions concernant ces trois expressions. Nous allons néanmoins, en retenir une pour chacune des trois expressions.

- **Savoir.**

Ce terme apparaît souvent au pluriel, les savoirs. Il est généralement synonyme de **connaissance** dans le langage courant. Les savoirs scolaires sont décrits comme des connaissances organisées, réfléchies, institutionnalisées, qui sont transmises par l'école. Ces savoirs sont formulés différemment du savoir savant, mais ne sont pas non plus simpliste, pas faux par rapport au savoir savant.

De manière générale, le savoir désigne ce qui est acquis, construit et élaboré par la théorie ou l'expérience.

Il y a aussi des savoirs qui sont appris en dehors du contexte scolaire. On distingue les trois types de savoir suivants :

Savoirs généraux	Savoirs procéduraux	Savoirs spécifiques à l'environnement professionnels
Ce sont des concepts et des savoirs disciplinaires (scientifiques et techniques) indépendants du contexte professionnel	Ils concernent les méthodes, les démarches, les modes opératoires relatifs à la réalisation d'une action	Ce sont les savoirs spécifiques au contexte de travail : règles, et modalités de gestion, culture d'entreprise, partenaires de projet, habitudes et codes sociaux, etc...

- **Savoir-faire**

Ce terme est synonyme de domaine psychomoteur. C'est le degré d'habileté que l'apprenant manifeste pour résoudre un problème posé. Le savoir-faire peut désigner un acte psychomoteur mais également la maîtrise d'une procédure ou d'une technique.

On peut distinguer quatre types de savoir faire :

Savoir-faire procéduraux	Savoir-faire expérientiels	Savoir-faire cognitifs	Savoir-faire relationnels
Ils sont relatifs à l'application pratique de méthodes, de démarche et de procédures	Ils sont constitués des « tour de main », des astuces, des façons de faire construits au cours d'expériences multiples dans un contexte professionnel spécifique	Ils concernent des opérations intellectuelles intériorisées, des modes de raisonnement, des façons d'aborder un problème et de construire une démarche de résolution	Ils se réfèrent à la communication avec autrui et reposent sur des techniques à développer lors d'échanges interindividuels et collectifs.

- **Savoir-être**

Il est du domaine socio-affectif. C'est un comportement, une attitude à prendre dans une situation donnée.

Une attitude se définit comme un état d'esprit, une disposition intérieure acquise, d'une personne à l'égard d'elle-même ou de tout élément de son entourage, qui incite à une manière d'être ou d'agir face à une situation particulière

Lorsque l'enseignant se trouve dans un enseignement comportemental, les objectifs spécifiques doivent être classés en « savoir, savoir-faire et savoir-être » en utilisant des verbes d'action selon le tableau ci-dessous :

Savoir	Savoir-faire	Savoir-être
Citer, donner la définition, restituer, choisir, copier, écrire, tracer, rappeler	Calculer, mettre en place, expliquer, déterminer l'expression numérique, transformer, comparer, classer, réaliser, pratiquer, distinguer, analyser, évaluer	Influencer, persuader, se connaître, convaincre, prendre conscience, décider

1.4. Les grandeurs physiques

1.4.1. Définition

On appelle **grandeur physique** toute propriété de la nature qui peut être quantifiée par la mesure ou le calcul et dont les différentes valeurs possibles s'expriment à l'aide d'un nombre généralement accompagné d'une unité de mesure.

Exemple : la masse, la longueur, l'indice de réfraction, la densité

Il existe deux types de grandeurs physiques : les **grandeurs fondamentales** ou **de base** et les **grandeurs dérivées**.

Exemples. **Grandeurs physiques fondamentale**: longueur, temps, masse, température

Grandeurs dérivées : volume, superficie, masse volumique, vitesse

1.4.2. Unités, représentations, dimensions

Grandeur physiques	Symboles	Unités (SI)	Dimensions
Grandeurs fondamentales			
Distance et longueur	l	m	[L]
Durée et temps	t	s	[T]
masse	m	kg	[M]
température		°K	[θ]
Quantité de matière	n	mol	[n]
Intensité du courant électrique	I	A	[I]
tension	U	V	$[M] \cdot [L]^2 \cdot [T]^{-3} \cdot [I]^{-1}$
Intensité lumineuse, flux lumineux		lm	[J]
Eclairement lumineux	E	lx	$[J] [L]^{-2}$
Grandeurs dérivées			
superficie	s	M ²	$[L]^2$
volume	V	m ³	$[L]^3$
angle	θ, α, β	rad	-
fréquence	f	Hz	$[T]^{-1}$
vitesse	v	m s ⁻¹	$[L] [T]^{-1}$
accélération	a	m s ⁻²	$[L] [T]^{-2}$
Vitesse angulaire	w	rad s ⁻¹	$[T]^{-1}$
Energie, travail	E	J	$[M] [L]^2 [T]^{-2}$
Masse volumique	ρ, μ	Kg m ³	$[M] [L]^{-3}$
pression	P	Pa	$[M] [L]^{-1} [T]^{-2}$
force	F	N	$[M] [L] [T]^{-2}$
Quantité de mouvement	p	N s	$[M] [L] [T]^{-1}$
puissance	P	w	$[M] [L]^2 [T]^{-3}$

Les dimensions des grandeurs dérivées sont déterminées à partir des équations contenant les grandeurs dont on connaît déjà les dimensions suivant l'exemple ci-dessous :

Exemple

$$E_c = \frac{MV^2}{2} \quad \text{énergécinétique}$$

$$E_c = M L T^2$$

$$K = \frac{F}{x} \quad \text{constante de raideur d'un resso}$$

$$K = F L^{-1}$$

1.4.3. Mesures et incertitudes de mesures

1.4.3.1. Précision des mesures

Les sciences physiques sont avant tout des sciences expérimentales. Toute théorie doit impérativement être validée par l'expérience et toute expérience doit être expliquée par la théorie. Ce va et vient impose au physicien de mesurer les grandeurs physiques qu'il invente. Il se sert pour cela d'appareil de mesure qu'il fabrique. De ce fait toute valeur de grandeur physique se verra entaché d'erreurs dues à la méthode et à l'appareillage utilisé pour obtenir cette valeur.

a) Notion d'erreur et d'incertitude

Lorsqu'on mesure une grandeur quelconque (intensité du courant ou longueur d'une table par exemple), on ne peut jamais obtenir la valeur exacte. En effet, la valeur mesurée l'est toujours par l'intermédiaire d'un appareil de mesure, construit par l'homme et, de ce fait, possédant des défauts. Le physicien, travaillant sur des mesures lors de ses expériences doit toujours être conscient de ce fait : la mesure est entachée d'**erreur** ou d'**incertitudes**. La bonne connaissance de l'instrument de mesure et de la méthode mise en œuvre permet d'évaluer l'écart entre la mesure et la valeur exacte.

Lorsque le physicien dispose d'une valeur expérimentale ou théorique que l'on considère comme vrai (valeur de référence), il peut comparer la valeur qu'il mesure à cette valeur de référence. On parle alors d'**erreur**.

Par contre dans la plupart des mesures physiques, on ne dispose pas de valeurs de référence. Par une critique objective des moyens utilisés pour faire la mesure, on peut se faire une idée de l' « erreur » maximale qu'on peut avoir commise. Cette « erreur » est appelée de façon plus appropriée **incertitude**.

Les trois causes d'incertitudes sont :

- l'imperfection de l'**appareil de mesure**.
- le défaut de la **méthode** de mesure.
- les limites de l'**homme** (lecture des appareils analogiques).

Ces incertitudes proviennent de deux types d'erreurs que sont : les **erreurs fortuites** et les **erreurs systématiques**.

Les erreurs fortuites (ou accidentelles) peuvent provenir de l'opérateur qui se trompe d'échelle de lecture, ou qui ne positionne pas son œil en face de l'aiguille, pour un appareil à aiguille (erreur de parallaxe). Pour éviter les erreurs de parallaxe, un miroir est placé sous l'aiguille. La position de l'œil est correcte lorsque l'aiguille est superposée à son reflet dans ce miroir.

Les erreurs fortuites peuvent aussi provenir d'un défaut de l'appareil de mesure ou d'un défaut sur le montage (mauvais contact, défaut d'isolement etc.).

Les erreurs systématiques: ont pour cause le choix de la méthode de mesure (la présence d'un appareil de mesure peut perturber le fonctionnement d'un montage), le manque de précision de l'œil de l'opérateur (pour les appareils à aiguille), le manque de précision des appareils de mesure (classe de précision, mauvais étalonnage, mauvais réglage des zéros).

b) Erreurs et Incertitude absolue

On appelle **erreur absolue**, le plus grand écart entre la valeur mesurée et la valeur considéré comme exacte (valeur de référence). L'erreur absolue a la même unité que la grandeur mesurée.

On appelle **incertitude absolue**, le plus grand écart qui existe entre la valeur mesurée et la valeur la plus probable que l'on considère comme vrai. Cette valeur probable peut être la moyenne de plusieurs mesures que l'on effectue sur la grandeur.

L'incertitude absolue a la même unité que la grandeur mesurée. Elle sera déterminée à l'aide des indications fournies par le constructeur au sujet des appareils de mesure. Il est noté ΔX

Pour les appareils analogiques: (à aiguille) l'incertitude absolue ΔX liée à la classe de l'appareil est donnée par la relation :

$$\Delta X = \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100}$$

La classe de l'appareil se lit sur l'appareil.

Cette incertitude ne dépend pas de la déviation de l'aiguille, c'est pour cela qu'il faut utiliser, si possible, avec les appareils analogiques le calibre qui permet une lecture dans le dernier tiers de la graduation.

Pour les appareils numériques: l'incertitude dépend d'un terme constant plus un terme proportionnel qui est un pourcentage de la **valeur absolue** de la lecture.

Par exemple : $\Delta X = 1\% \times |\text{lecture}| + 1 \text{ digit}$ (1 digit = 1 unité sur le dernier chiffre)

Les valeurs du terme constant et du terme proportionnel sont donnés sur la documentation du constructeur et dépendent du calibre. Attention, pour calculer l'incertitude absolue il faut utiliser la **valeur absolue** de la lecture.

Remarque : Si un instrument de mesure n'indique pas l'incertitude absolue d'une mesure, on considère qu'elle correspond à la moitié de la plus petite unité qu'affiche l'instrument.

c) Erreur et incertitude relative

L'erreur relative est le quotient de l'erreur absolue à la valeur de référence. C'est une grandeur qui n'a pas d'unité. On l'exprime généralement en %.

L'incertitude relative est le quotient de l'incertitude absolue par la **valeur absolue** de la valeur mesurée. Elle n'a pas d'unité et peut être exprimée en pourcentage.

$$\text{Incertain}_t_relative = \frac{\text{Incertain}_t_absolue}{|\text{Valeur_mesurée}|}$$

ou encore :

$$\text{Incertain}_t_relative_% = \frac{\text{Incertain}_t_absolue}{|\text{Valeur_mesurée}|} \times 100$$

Documentation des appareils de mesure.

1 - Multimètre TRG2200 :

Tensions continues :

V	400 mV	4 V	40 V	400 V	1000 V
R	10 M Ω				
Précision	0.25% lect. + 1 point			0.25% lect+3pts	

Intensités continues :

A	4 mA	40 mA	400 mA	10 A
Précision	0.5% lect. + 1 point		2% lect + 1 point	

2 - Multimètre Metrix MX 553 :

Tensions continues :

	Gammes	Précision	Résistance d'entrée	Résolution
mV	500 mV	0,1 % lect + 2 pts	10 M Ω	10 μ V
V _{DC}	5 V	0,1 % lect + 2 pts	11 M Ω	100 μ V
	50 V	0,1 % lect + 2 pts	10 M Ω	1 mV
	500 V	0,2 % lect + 2 pts	10 M Ω	10 mV
	1000 V	0,3 % lect + 2 pts	10 M Ω	100 mV

Intensités continues :

	Précision	d.d.p.	Résolution
5 mA	0,2 % lect + 2 pts	700 mV	1 μ A
50 mA	0,2 % lect + 2 pts	700 mV	10 μ A
500 mA	0,2 % lect + 2 pts	1,5 V	100 μ A
10 A	0,5 % lect + 5 pts	500 mV	10 mA

1.4.3.2. Ecriture d'une valeur numérique : le nombre de chiffres significatifs

a) Les chiffres significatifs

Puisque les valeurs correspondant aux grandeurs étudiées en physique ne sont jamais exactes, il convient de prêter attention au nombre de chiffres qui les expriment.

Toute valeur numérique provenant d'une mesure ou d'un calcul (**sur des grandeurs mesurées**) doit être exprimée avec un nombre de chiffres dits significatifs tenant compte des incertitudes.

Un chiffre significatif est un chiffre nécessaire pour exprimer la valeur d'une grandeur physique mais aussi sa précision.

Exemple :

- **Tous les chiffres non nuls sont significatifs : 1542,3** a 5 chiffres significatifs ; **15,423** a 5 chiffres significatifs (la virgule n'intervient pas).
- **Les zéros placés à l'intérieur d'un nombre ou à la fin d'un nombre après la virgule, sont toujours significatifs : 2005** a 4 chiffres significatifs ; **187,50** a 5 chiffres significatifs ; **187,5** a 4 chiffres significatifs. Donc **187,50** et **187,5** ne sont pas identiques, le premier est plus précis.
- **Les zéros placés au début d'un nombre ne sont jamais significatifs : 0,52** a 2 chiffres significatifs ; **0532** a 3 chiffres significatifs
- **Les zéros placés à la fin d'un nombre sans virgule peuvent être ou ne pas être significatifs :**
200 mA a 1 ou 2 ou 3 chiffres significatifs

Pour sortir de l'ambiguïté on peut changer d'unité et faire apparaître ainsi une virgule :

0,20 A a 2 chiffres significatifs

- **0,200 A** a 3 chiffres significatifs

Le nombre de chiffre significatif indique la précision avec laquelle la valeur est connue.

b) Écriture d'une valeur numérique en notation scientifique

En mathématiques, écrire $X = 11\,597\text{ g}$, signifie que seul le dernier chiffre, 7, est incertain. On a donc :

$$11\,596,5\text{ g} \leq X \leq 11\,597,5\text{ g}.$$

En physique, en l'absence d'indication explicite sur l'incertitude attachée à X , on admet souvent que celle-ci est égale à une demie unité du dernier chiffre exprimé (P. Fleury et J.-P. Mathieu, Mécanique physique, 4ème édition, 1965, page 42).

Les écritures : $X = 11\,597\text{ g}$ ou $X = (11\,597 \pm 0,5)\text{ g}$ sont donc équivalentes

En revanche, si l'on désire indiquer que l'incertitude ΔX sur X est de 1 g, par exemple, au sens où l'intervalle (11 596 g, 11 598 g) a de fortes chances de contenir la vraie valeur de X , alors il faut écrire $X = (11\,597 \pm 1)\text{ g}$.

En notation scientifique, le résultat d'une mesure s'écrit sous la forme suivante :

$$a = \hat{a} \pm \Delta a,$$

où \hat{a} est l'estimateur et Δa l'incertitude absolue

Dans cette écriture, l'incertitude Δa s'exprime avec deux chiffres significatifs (au maximum) ; les derniers chiffres significatifs conservés pour l'estimateur \hat{a} sont ceux sur lesquels porte Δa .

Exemples : $m = (98,5 \pm 1,6)\text{ g}$.

$$R = 46,8\ \Omega \pm 0,3\ \Omega$$

$$P = (3,420 \pm 0,026)\text{ kW}.$$

c) Opérations avec les valeurs numériques et précision des résultats

Le résultat d'une multiplication (ou d'une division) de deux valeurs numériques ne peut avoir plus de chiffres significatifs que la valeur numérique qui en comporte le moins.

Exemple : $2,37 \times 1,2 = 2,8$

Donc on écrit 2,8 et non 2,844

$$0,625 : 0,5 = 1,2$$

Donc on écrit 1,2 et non 1,25

Le résultat d'une addition (ou d'une soustraction) de deux valeurs numériques ne peut être plus précis que la valeur numérique la moins précise.

Exemple : soient deux longueurs 94 m et 8,7 m

$$94 \text{ m} + 8,7 \text{ m} = 102,7 \text{ m}$$

On n'écrit pas 102,7 m car la précision de la première longueur est le mètre et qu'une meilleure précision n'est pas possible pour le résultat.

Soient les surfaces 54,3 cm² et 12,17 cm²

$$(54,3 - 12,17) \text{ cm}^2 = 42,13 \text{ cm}^2$$

On écrit pas 42,13 cm² mais bien 42,1 cm²

Chapitre 2. Etudes de cas