

Physique Générale : mécanique..

..pour Microtechnique

Luc Testa

Automne 2025

0.1 Bref CV

■ Parcours

- 2016 : master en physique théorique, EPFL/SISSA
- 2021 : doctorat en magnétisme quantique, EPFL
 - Etude numérique de systèmes d'électrons corrélés
 - Etude expérimentale de systèmes magnétiques quantiques
- 2022 : ingénieur physicien, Swatch

■ Enseignement (depuis 2023)

- Physique (MAN)
- Informatique et calcul scientifique (MAN, CMS)

■ ..et 21 étudiant.es et doctorant.es de l'EPFL !



0.2 Déroulement du semestre

- 14 semaines de cours, 2 leçons «théoriques» par semaine
 - Mercredi 12h¹⁵ – 14h (CE6), théorie et expériences
 - Jeudi 10h¹⁵ – 11h (CE6), théorie et expériences
- 1 session plus ludique par semaine
 - Jeudi 11h¹⁵ – 12h (CE6)
 - Expériences, discussions, applications
- 14 sessions d'exercices
 - Mercredi 15h¹⁵ – 17h
 - Participation fortement encouragée !!
- Vidéos de cours sur Mediaspace, cours retransmis en live.

- Moodle : <https://moodle.epfl.ch/course/view.php?id=15354>
 - Cours donné sur tablette
 - Notes de cours téléversées sur Moodle après le cours
 - Séries d'exercices distribuées le lundi, les corrigés le vendredi

- Forum Ed discussion
 - Forum participatif !
 - Participation anonyme
 - Merci de bien documenter votre question

- Contact
 - Mail : luc.testa@epfl.ch
 - En personne sur rdv

Mercredi 15h¹⁵ – 17h

- Exercices pratiques liés au cours de la semaine
 - Développer une méthode rigoureuse
 - Entraîner son intuition
 - Réfléchir avant de se lancer tête baissée !
 - Travail en groupe ((très) fortement) encouragé !
 - Apprentissage au travers d'erreurs, de tâtonnements



"What I cannot create, I do not understand."

R. Feynman

CE1 101	GR A3 30	GR A3 31	GR C0 01	MA A1 12
→ De Boucaud	→ Gräff	→ Magnin	→ Rumpler	→ Fin

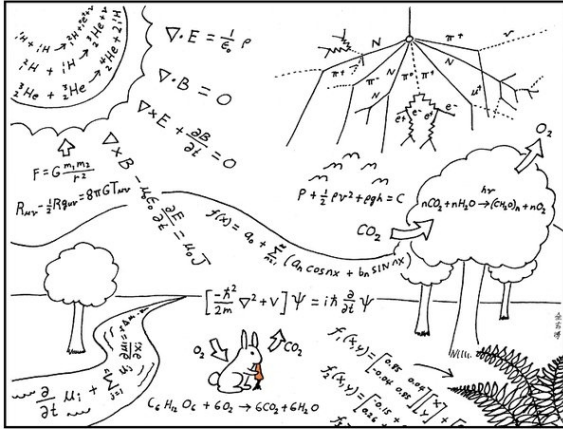
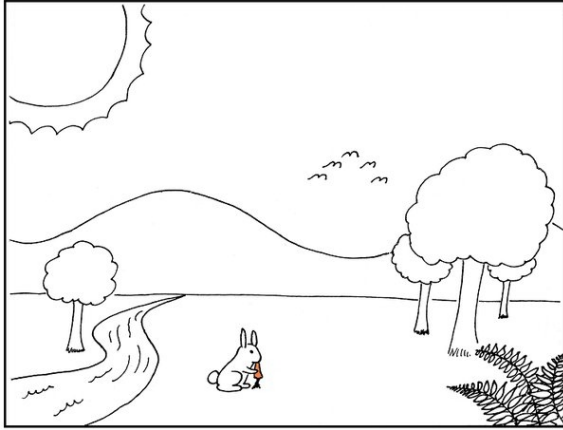
- Séances de soutien du soir (CePro) à partir de la semaine 4

- Examen écrit
 - Durée de 3h30
 - 1/4 QCM
 - 3/4 exercices rédigés

- Calculatrices, téléphone, montre connectée interdits !
 - Applications numériques faisables à la main

- Formulaire autorisé !
 - Format à déterminer

- Test blanc en milieu de semestre (pas 100 % sûr)



This is how scientists see the world.

Physique générale - mécanique

Physique

*Science qui étudie par l'expérimentation et l'élaboration de **concepts** les propriétés fondamentales de la matière et de l'espace-temps.*

- Larousse, 2025

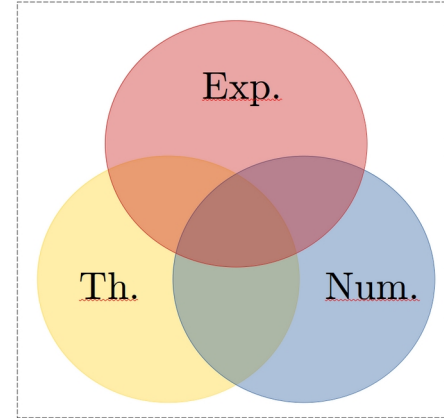
- La physique ne permet pas de répondre à la question *pourquoi?*, mais *comment?*
- Compréhension de phénomènes naturels, et modélisation sous forme mathématique (description)



1.1.1 Savoir faire des physicien.nes

- **Observer** un phénomène physique et en comprendre les facteurs principaux
- **Modéliser** ce phénomène physique sous forme mathématique
- Résoudre ce modèle mathématique
 - Analytiquement
 - Numériquement
- Comprendre le phénomène et définir les limites de validité
- Sur cette base, **prédire** d'autres phénomènes physiques et mettre en oeuvre une expérience pour vérifier la validité du modèle

Physique



«Je n'ai pas de raison de penser que l'intelligence humaine soit capable de conceptualiser les lois physiques en se basant uniquement sur ses propres ressources sans faire appel aux résultats expérimentaux. De telles tentatives se sont toujours soldées par des théories artificielles et pleines de contradictions.»

- James Clerk Maxwell (XIXe)

1.1.2 Illustration : chute libre

- Quand on lâche un objet, il tombe.
 - Expérience répétitive
- Dans l'air, deux objets de forme différente mais de même masse ne tombent pas de la même manière.
 - Mouvement dépendant de la forme de l'objet
- Dans l'air, deux objets de même forme tombent de manière similaire, peu importe leur masse (Galilée, 1604)
 - Mouvement indépendant de la masse de l'objet
- Dans le vide, deux objets de forme différente tombent à la même vitesse. (Torricelli, 1644)
 - Mouvement dépendant de l'environnement



Chute libre de deux corps de même forme

Conclusion : En négligeant les frottements de l'air, l'accélération d'un corps ne dépend pas de sa masse. Principe clé menant à la 2e loi de Newton (1687)

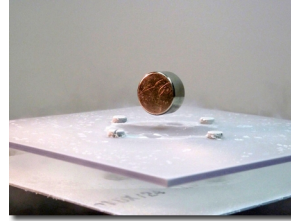
1.1.3 Application : Lévitation magnétique

Observation : lorsque deux aimants de polarités opposés sont placés l'un en face de l'autre, ils se repoussent.

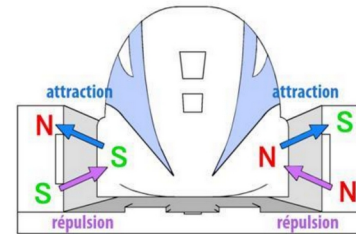
- Applications : mémoire flash, train à sustentation magnétique.
- Autre application : lévitation d'une grenouille (IG Nobel)
- Phénomène associé : supraconductivité



Toupie magnétique en lévitation, et stable par effet gyroscopique



Aimant en lévitation par effet Meissner



Train *Maglev* à sustentation magnétique

Of flying frogs and levitrons

M V Berry† and A K Geim‡

† H H Wills Physics Laboratory, Tyndall Avenue, Bristol BS8 1TL, UK

‡ High Field Magnet Laboratory, Department of Physics, University of Nijmegen, Toernooiveld, 6525 ED Nijmegen, The Netherlands

Received 4 June 1997

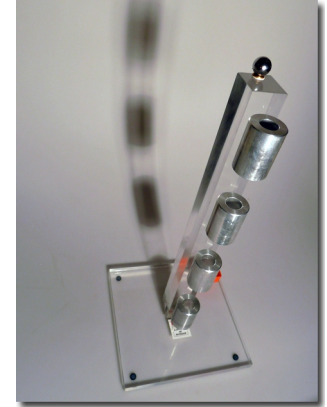


(Pauvre) grenouille en lévitation

1.1.4 Illustration : Freinage par induction

Observation : lorsqu'une bille magnétique passe à travers un tube conducteur (non magnétique), elle est considérablement freinée.

- Loi d'induction de Lenz-Faraday : $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$
- Application : freinage de véhicules poids lourds
- Application : charge sans contact (téléphone, brosse à dent)



Tube en aluminium

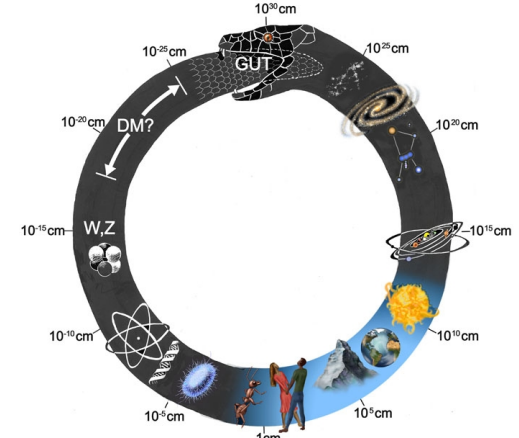


Téléphone en charge par induction

1.1.5 Domaines de la physique

- Décomposée en plusieurs domaines
 - Mécanique classique
 - Electromagnétisme
 - Physique quantique
 - Matière condensée
 - Physique nucléaire
 - Géophysique, biophysique
 - ...

- Permet la description de phénomènes liés à différentes échelles d'énergie et de vitesse



© 2006 Abrams and Primack, Inc. *The Cosmic Uroboros*

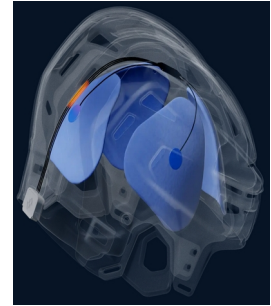
Physique...

... nucléaire ... quantique ... classique ... astrophysique

10⁻³¹ J 1 peV	10⁻²² J 1 meV	10⁻¹⁹ J 1 eV	10⁻¹⁴ J 100 MeV	10⁻⁷ J 1 TeV	1 J	10¹³ J	10⁴⁴ J	10⁶⁹ J
E_{\min}	E_{cin} à 2 K	électron sous $\Delta U=1$ V	$E = mc^2$ électron	Energie collision CERN	E_{pot} plaque chocolat $h=1\text{m}$	Hiroshima	Supernova	Masse univers observable

1.1.6 Et la microtechnique là-dedans ?

- Accéléromètres ultra-précis et capteurs (Bearmind, drones)
- Détection d'ondes gravitationnelles (Ligo, Virgo).
Variation de 10^{-18} m pour un bras de 4 km.
Pour comparaison, $r_{\text{Proton}} = 10^{-15}$ m
- Balistique : étude du mouvement de drones, stabilisation, réduction des perturbations
- Gyroscopes



Senseurs et accéléromètre développés par Bearmind



Bras de l'interféromètre VIRGO (IT)

1.2 Loi physique et rôle des mathématiques

La physique est une science basée sur l'observation.

- Une **grandeur physique** est une propriété physique pouvant être observée ou mesurée.
 - Masse : m
 - Longueur : d, l
 - Temps : t
 - Surface : S, A
 - Vitesse : v
 - Accélération : a

- Une **mesure** est une comparaison d'une grandeur physique avec une référence (étalon, unité SI), avec une certaine précision
 - Masse : [kg]
 - Longueur : [m]
 - Temps : [s]
 - Surface : [m^2]
 - Vitesse : [m/s], [m s^{-1}]
 - Accélération : [m/s^2], [m s^{-2}]



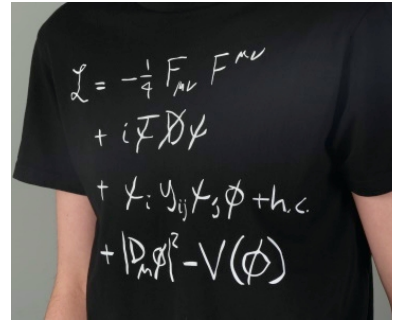
1.2 Loi physique et rôle des mathématiques

Les **mathématiques** sont le langage de la physique, permettant de faire le lien entre l'observation et le symbolique.

- Les **lois physiques** sont des relations mathématiques liant différentes grandeurs physiques
 - ex : chute libre
 - ex : 2^e loi de Newton
 - ex : équation d'Einstein
 - ex : équation de Schrödinger

- Pour que la loi ait du sens, les unités des différentes grandeurs physiques doivent être cohérentes

- Ces lois permettent de **prédire** d'autres mesures sur des systèmes physiques similaires !



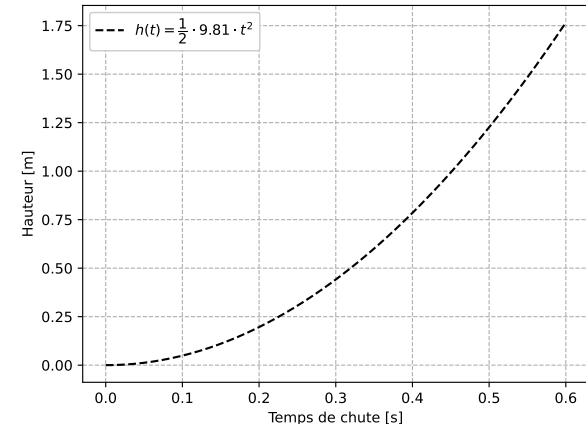
1.2.1 Application : Chute libre

- **Observation** : Lorsqu'on lâche une bille de masse m [kg] d'une hauteur h [m], elle touchera le sol après un temps t [s].
- **Mesure** : On mesure le temps de chute t pour différentes hauteurs h , et différentes masses m .
- **Analyse** : Des données, on extrait une loi de la forme :

$$h(t) = K \cdot t^2$$

- **Comparaison** : En théorie (cinématique), cette relation vaut :

$$h(t) = \frac{1}{2} g t^2$$



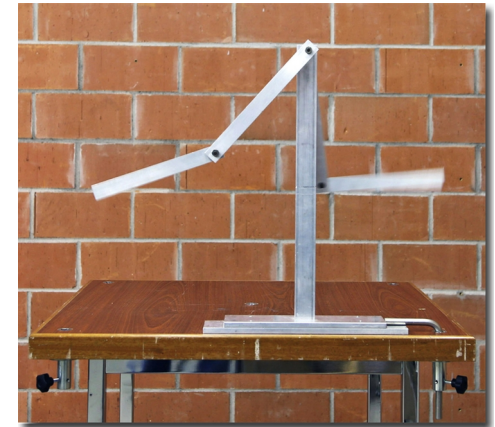
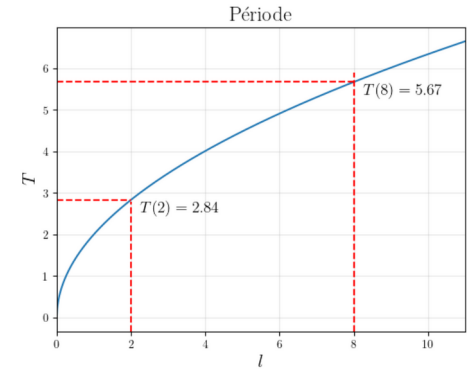
1.2.1 Application : Mouvement chaotique

- A faible amplitude, la période d'un pendule simple ne dépend ni de sa masse ni de l'angle initial

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

- Si deux pendules doubles sont lancés avec de faibles amplitudes initiales comparables, ils restent synchronisés
- Si les deux pendules doubles sont lancés avec de grandes amplitudes initiales comparables, leurs mouvements se désynchronisent rapidement

Il s'agit d'un **mouvement chaotique**, non-prévisible à court terme (météo, simulations numériques, fin physique classique)

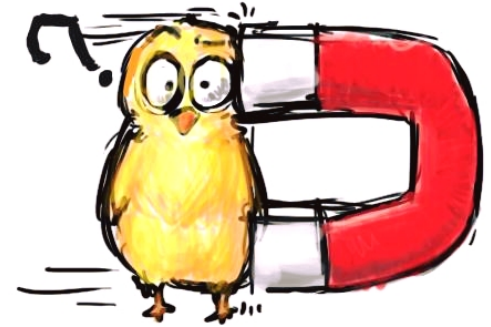


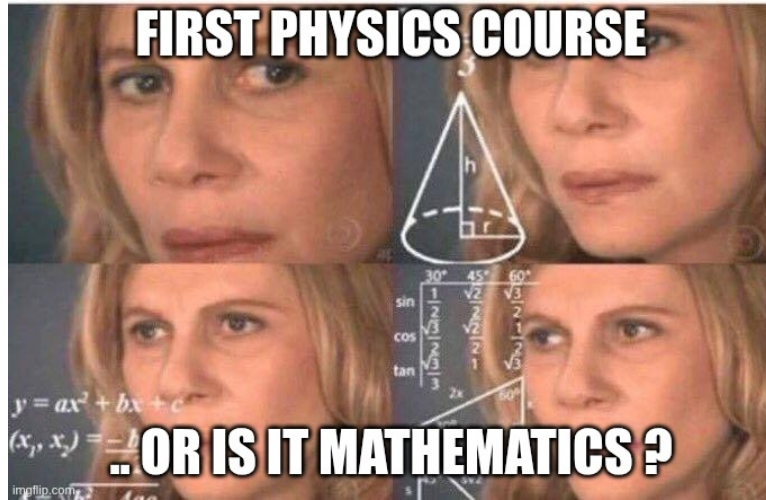
1.3 Recommandations

- La physique est une science observable décrivant le monde réel. Utiliser son intuition et la “règle du bon sens”.
- Développer une systématique (*marche à suivre*) pour la résolution de problèmes.
- Outils mathématiques, travailler avec rigueur (notations, unités)
- Les exercices forment un (plus que) complément à la théorie
- Développez votre propre méthode de travail

1.4 Programme du semestre

- Introduction
- Cinématique du point matériel
- Dynamique, lois de Newton
- Oscillateur harmonique
- Energie, travail et puissance
- Collisions
- Moment cinétique
- Mouvement relatif
- Cinématique et dynamique du solide indéformable





Rappels mathématiques

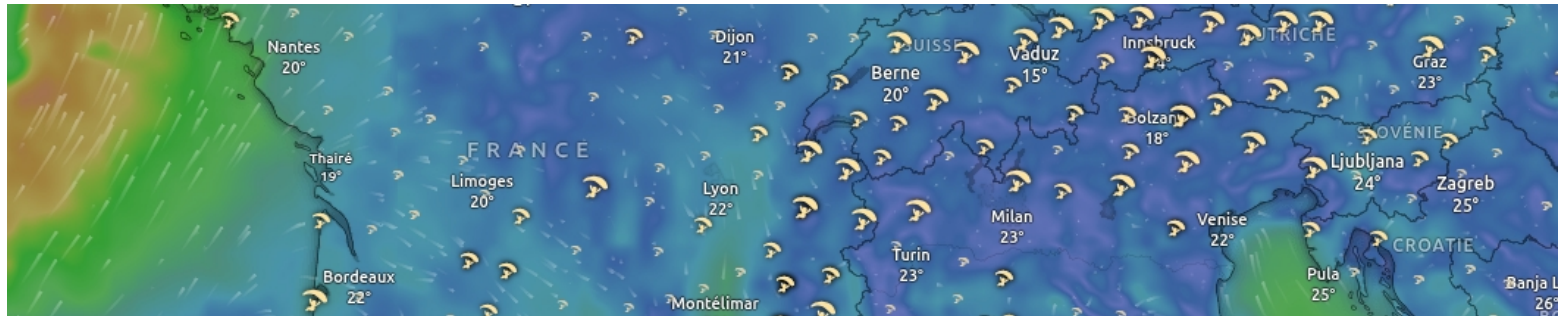
1. *Vecteurs*
2. *Trigonométrie*
3. *Dérivation*

2.1 Vecteurs

Un **vecteur** est un segment de droite orienté. Il est caractérisé par :

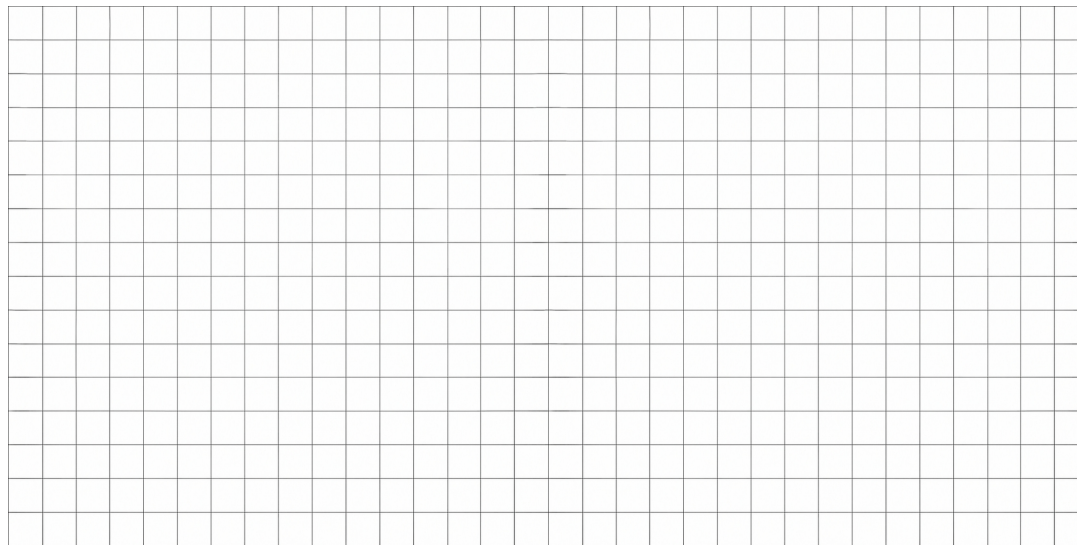
- 1) Sa norme
- 2) Sa direction
- 3) Son sens

Il transporte alors plus d'informations qu'un nombre (*scalaire*).



2.1.1 Composition de vecteurs

On peut sommer géométriquement plusieurs vecteurs en les mettant bout à bout.

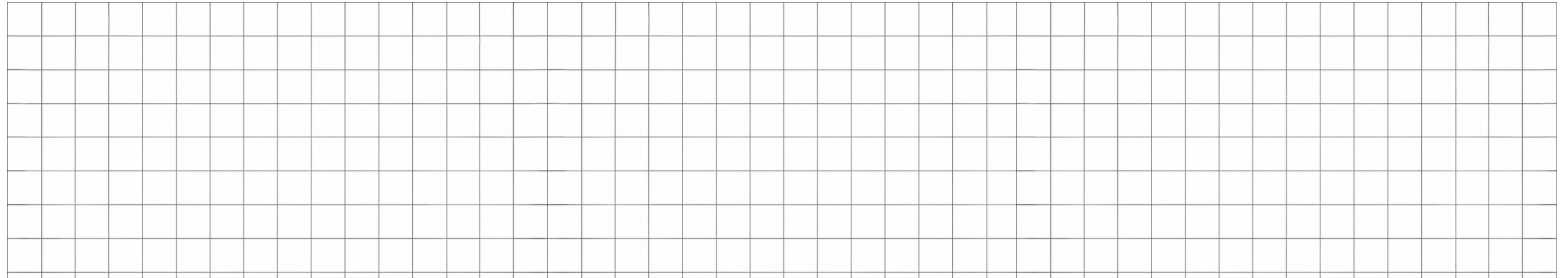


Il arrive que la somme de plusieurs vecteurs soit nulle.

2.1.2 Repère

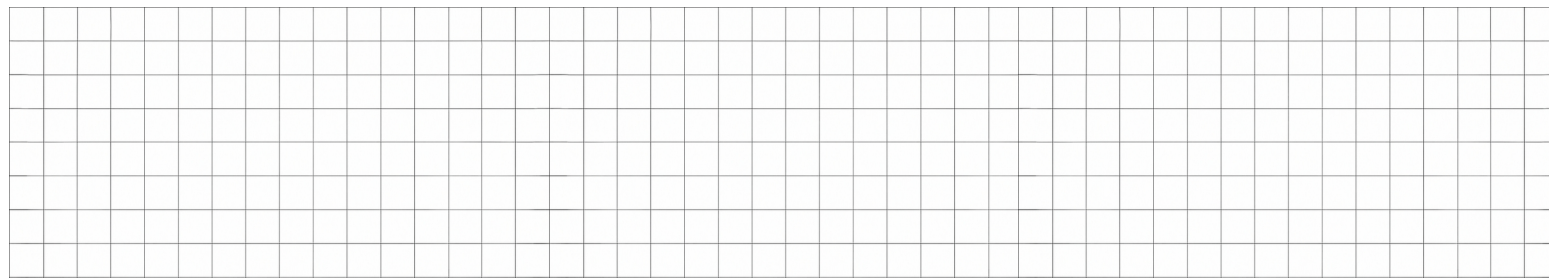
Un **repère** $(O, \mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$ est une entité géométrique servant de référence pour la description de situations physiques.

- En 3D, il s'agit de trois vecteurs linéairement indépendants $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$ rattachés à une origine O .
- Un repère est dit **orthonormé** s'il est tel que les vecteurs de base sont (i) unitaires et (ii) orthogonaux.
- Un repère **direct** est un repère orthonormé qui satisfait la règle de la main droite.



2.1.3 Vecteurs et composantes

On peut écrire tout vecteur comme combinaison linéaire des vecteurs de base du repère utilisé.



Les différents scalaires sont appelés **composantes** du vecteur dans le repère considéré.

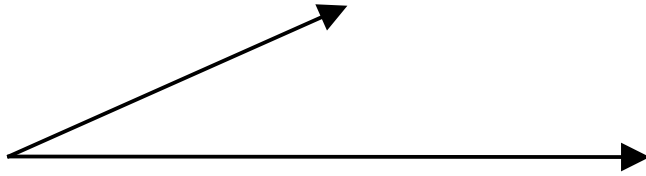
2.1.4 Quelques opérations

- La **norme** d'un vecteur correspond à la longueur du segment considéré.

- L'addition de deux vecteurs se fait composante par composante

2.1.4 Quelques opérations

Le **produit scalaire** de deux vecteurs est un nombre obtenu par la somme du produit de leurs composantes par rapport au même repère direct.

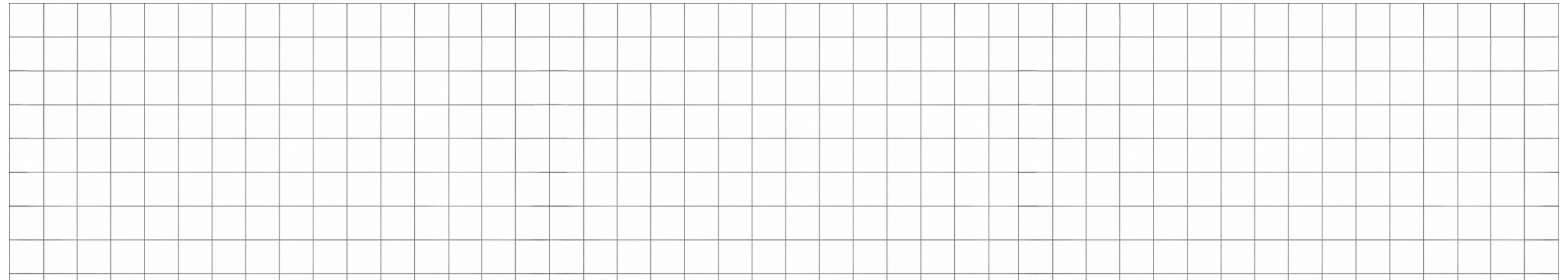


Il permet de calculer la norme de la projection d'un vecteur sur un autre.
Par exemple, la composante v_x de \mathbf{v} selon \mathbf{e}_x s'écrit :

2.1.4 Quelques opérations

Le **produit vectoriel** des vecteurs \mathbf{u} et \mathbf{v} non colinéaires est le vecteur \mathbf{w} tel que :

-
-
- Le vecteur \mathbf{w} est orthogonal aux deux autres vecteurs
- La base $(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w})$ forme un repère direct

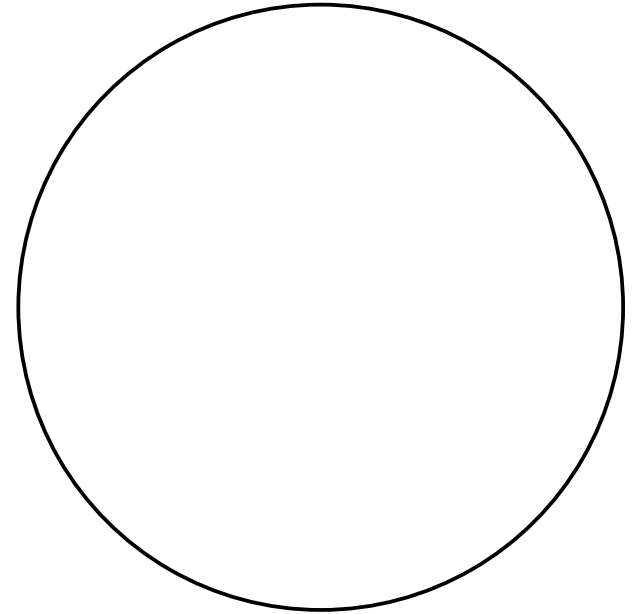


Géométriquement, il représente l'aire du parallélogramme formé par \mathbf{u} et \mathbf{v} .

2.2 Trigonométrie

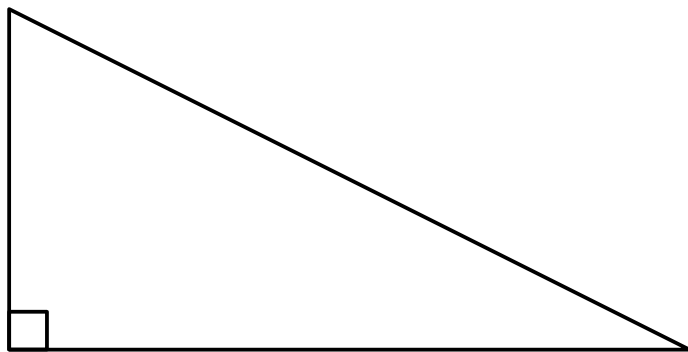
Traditionnellement, on utilise les angles en **radians**.

- Un cercle complet fait 2π radians
- Un arc de cercle a une longueur $l = \theta R$



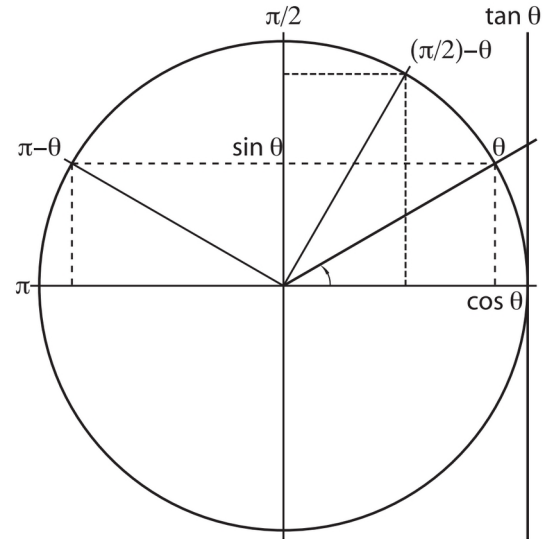
EPFL 2.2.1 Trigonométrie dans le triangle rectangle

Le triangle rectangle possède des propriétés géométriques qui seront très utiles dans ce cours.



2.2.2 Cercle géométrique

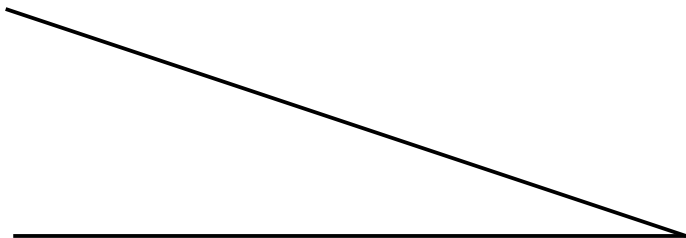
Si on inscrit ce triangle dans un cercle de rayon 1, on obtient le cercle trigonométrique avec les relations suivantes :



2.2.3 Trigonométrie et vecteurs

Il arrivera souvent qu'on doive extraire les composantes d'un vecteur le long des différentes directions du repère considéré, connaissant sa norme.

Attention à bien identifier les angles et les projections en jeu !



2.3 Calcul différentiel

La **dérivée** d'une fonction f en x_0 mesure la vitesse de variation de la fonction autour de x_0 .

Il s'agit donc de la pente de la tangente à la courbe en ce point.

Mathématiquement, on la note



En physique, on prendra l'habitude de noter les dérivées temporelles avec un point.

2.3.1 Quelques dérivées usuelles

Il est important de connaître la dérivée de ces fonctions usuelles :

2.3.2 Dérivées de compositions de fonctions

- La dérivée d'un produit de fonctions s'écrit $(f \cdot g)' = f' \cdot g + f \cdot g'$

Par exemple :

- La dérivée d'une composition de fonctions s'écrit $(f[g(x)])' = g'(x) \cdot f'(g(x))$

Par exemple :

2.3.3 Développement de Taylor

On peut remplacer une fonction “compliquée” par un polynôme au voisinage d’un point x_0 en utilisant les propriétés des dérivées.

On parle alors de développement en séries de Taylor, ou développement limité.

