

# PROTEUS

## LABS



***Latest Version 556***

***13 août 2026***

***LABS LIST***



[proteus-vr.com](http://proteus-vr.com)



## Contents

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                                                                                | 6  |
| Liens importants .....                                                                            | 6  |
| Corresponding International Baccalaureate Programme Topics .....                                  | 7  |
| A. IB Middle Years Programme — Sciences (Years 1–5, ages 11–16).....                              | 7  |
| MYP Biology .....                                                                                 | 7  |
| MYP Chemistry.....                                                                                | 8  |
| MYP Physics.....                                                                                  | 11 |
| B. IB Diploma Programme — Sciences (ages 16–18) .....                                             | 12 |
| IB DP Biology.....                                                                                | 12 |
| IB Codes Legend .....                                                                             | 13 |
| Next Generation Science Standards (NGSS) Disciplinary Core Ideas (DCI) Arrangements Mapping ..... | 14 |
| A. NGSS Mapping (in order of Proteus Labs).....                                                   | 14 |
| Tutorials and Introductory Skills .....                                                           | 14 |
| Chemical and Physical Properties .....                                                            | 14 |
| Biology .....                                                                                     | 15 |
| Solutions .....                                                                                   | 17 |
| Acids and Bases .....                                                                             | 17 |
| Gases .....                                                                                       | 17 |
| Kinetics and Thermodynamics.....                                                                  | 18 |
| Chemical Equilibrium .....                                                                        | 19 |
| Electrochemistry .....                                                                            | 19 |
| Electricity .....                                                                                 | 19 |
| Physics (Mechanics).....                                                                          | 20 |
| B. NGSS Mapping (in order of NGSS Performance Expectation) .....                                  | 21 |
| Middle School — Physical Sciences.....                                                            | 21 |
| Middle School — Life Sciences.....                                                                | 22 |
| Middle School — Earth and Space Sciences.....                                                     | 22 |
| High School — Physical Sciences .....                                                             | 22 |
| High School — Life Sciences .....                                                                 | 23 |
| High School — Earth and Space / Engineering .....                                                 | 23 |
| NGSS Codes Legend .....                                                                           | 24 |



|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| <b>TUTORIALS</b>                                          | 25 |
| 001 — Tutoriel de Balance                                 | 26 |
| 002 — Tutoriel d'introduction                             | 27 |
| 003 — Tutoriel sur le volume                              | 28 |
| 034 — Introduction à la sécurité en laboratoire           | 29 |
| 042 — Introduction aux instruments de laboratoire         | 30 |
| 004 — Osmose                                              | 31 |
| 005 — Identification des éléments par des flammes vives   | 32 |
| 006 — Identification du gaz                               | 33 |
| 007 — Séparation des produits solides et liquides         | 34 |
| 008 — Séparation des produits par point d'ébullition 1    | 35 |
| 009 — Séparation des produits par point d'ébullition 2    | 36 |
| 010 — Point de fusion et densité                          | 37 |
| 011 — Densité                                             | 38 |
| 012 — Propriétés physiques et identification des produits | 39 |
| 013 — Nutriments                                          | 40 |
| 014 — Extraction des métaux lourds                        | 41 |
| 015 — Propriétés des métaux                               | 42 |
| 016 — La loi de conservation de la masse                  | 43 |
| 021 — Centrifugation                                      | 44 |
| 023 — Sang et groupes sanguins                            | 45 |
| 024 — Observation des cellules animales                   | 46 |
| 025 — Observation de cellules végétales                   | 47 |
| 026 — ADN végétal                                         | 48 |
| 027 — Germination                                         | 49 |
| 028 — Analyse des selles                                  | 50 |
| 029 — Observation de la salive                            | 51 |
| 030 — Chimie des eaux de rivière                          | 52 |
| 038 — Préparation de solution par dissolution             | 53 |
| 039 — Modifier la solubilité d'un solide                  | 54 |
| 040 — Précipitations                                      | 55 |
| 041 — Préparation d'une solution                          | 56 |



|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 043 — Dilutions .....                                                         | 57 |
| 046 — pH .....                                                                | 58 |
| 047 — Titrage acido-basique 1 .....                                           | 59 |
| 048 — Le pH des acides forts et faibles .....                                 | 60 |
| 049 — Utilisation d'indicateurs de pH .....                                   | 61 |
| 050 — Conductivité et pH .....                                                | 62 |
| 051 — Stœchiométrie .....                                                     | 63 |
| 052 — Titrage acido-basique 2 .....                                           | 64 |
| 053 — La pression des gaz .....                                               | 65 |
| 054 — La relation entre le volume et la pression d'un gaz 1 .....             | 66 |
| 055 — La relation entre le volume et la pression d'un gaz 2 .....             | 67 |
| 056 — La relation entre la température et le volume d'un gaz .....            | 68 |
| 057 — La relation entre la solubilité des gaz et la température .....         | 69 |
| 059 — Vitesse de réaction et enthalpie .....                                  | 70 |
| 060 — Vitesse de réaction entre les molécules .....                           | 71 |
| 061 — L'influence de la surface de contact sur la vitesse de réaction 1 ..... | 72 |
| 062 — L'influence de la surface de contact sur la vitesse de réaction 2 ..... | 73 |
| 063 — L'influence de la concentration sur la vitesse de réaction 1 .....      | 74 |
| 064 — L'influence de la concentration sur la vitesse de réaction 2 .....      | 75 |
| 065 — Loi de Hess .....                                                       | 76 |
| 066 — Réactions endothermiques et exothermiques .....                         | 77 |
| 067 — Capacité thermique massique .....                                       | 78 |
| 070 — L'aspect qualitatif de l'équilibre chimique .....                       | 79 |
| 071 — Principe de Le Châtelier .....                                          | 80 |
| 072 — Électrolyse de l'eau .....                                              | 81 |
| 073 — Conductivité .....                                                      | 82 |
| 074 — Lire une résistance .....                                               | 83 |
| 075 — Assemblage de circuits électriques .....                                | 84 |
| 076 — Assemblage d'un circuit électrique en parallèle .....                   | 85 |
| 077 — Impact du courant sur la luminosité d'une lampe .....                   | 86 |
| 078 — Électricité statique .....                                              | 87 |
| 079 — Champs magnétiques .....                                                | 88 |



|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>080 — Électroaimants .....</b>                                                                   | <b>89</b>  |
| <b>081 — Efficacité énergétique .....</b>                                                           | <b>90</b>  |
| <b>110 — Loi de Kirchhoff .....</b>                                                                 | <b>91</b>  |
| <b>082 — Force efficace .....</b>                                                                   | <b>92</b>  |
| <b>083 — L'énergie mécanique d'un objet en mouvement .....</b>                                      | <b>93</b>  |
| <b>084 — Accélération constante .....</b>                                                           | <b>94</b>  |
| <b>085 — La relation entre la déformation d'un ressort et la force de rappel qu'il exerce .....</b> | <b>95</b>  |
| <b>086 — Le fonctionnement d'un palan .....</b>                                                     | <b>96</b>  |
| <b>087 — Avantage mécanique dans la conception de scène de théâtre .....</b>                        | <b>97</b>  |
| <b>088 — La relation entre la force résultante et l'accélération .....</b>                          | <b>98</b>  |
| <b>091 — Énergie cinétique .....</b>                                                                | <b>99</b>  |
| <b>106 — Mouvement de roulement sur des rampes inclinées .....</b>                                  | <b>100</b> |



# Introduction

## Liens importants

- [Page Class VR](#)
- [Canal Discord](#)
- [Facebook](#)



# Corresponding International Baccalaureate Programme Topics

## A. IB Middle Years Programme — Sciences (Years 1–5, ages 11–16)

The MYP Sciences framework organizes content around four **Key Concepts** (Change, Relationships, Systems, Communities), six discipline-specific **Related Concepts**, and six **Global Contexts**. Each lab below is mapped to its primary Key Concept, the two most relevant Related Concepts, and the Global Context the lab speaks to most clearly. Approximate MYP year is provided as a curriculum-planning hint.

### MYP Biology

| Lab No | Lab Name                                       | MYP Year | Key Concept   | Related Concepts     | Global Context                    |
|--------|------------------------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------------------------------|
| 4      | Osmosis                                        | 3–5      | Systems       | Balance, Function    | Scientific & technical innovation |
| 21     | Centrifugation                                 | 4–5      | Change        | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 23     | Blood and blood groups                         | 4–5      | Systems       | Function, Form       | Identities and relationships      |
| 24     | Observation of animal cells                    | 1–3      | Systems       | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 25     | Observation of plant cells                     | 1–3      | Systems       | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 26     | Vegetal DNA                                    | 4–5      | Relationships | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 27     | Germination                                    | 1–3      | Change        | Environment, Balance | Orientation in space and time     |
| 28     | Analysis of stools                             | 4–5      | Systems       | Function, Balance    | Identities and relationships      |
| 29     | Observation of saliva                          | 3–5      | Systems       | Function, Energy     | Identities and relationships      |
| 30     | Chemistry of river water                       | 3–5      | Systems       | Environment, Balance | Globalization and sustainability  |
| 31     | Köhler illumination ( <i>TBD 2026</i> )        | 3–5      | Relationships | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 32     | Focusing microscope ( <i>TBD 2026</i> )        | 3–5      | Relationships | Form, Function       | Scientific & technical innovation |
| 33     | Observation of river water ( <i>TBD 2026</i> ) | 3–5      | Systems       | Environment, Balance | Globalization and sustainability  |



## MYP Chemistry

| Lab No | Lab Name                                           | MYP Year | Key Concept   | Related Concepts         | Global Context                    |
|--------|----------------------------------------------------|----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 5      | Identification of elements through bright flames   | 3–5      | Change        | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 6      | Gas identification                                 | 3–5      | Change        | Patterns, Transformation | Scientific & technical innovation |
| 7      | Separation of solid and liquid products            | 1–3      | Change        | Transformation, Function | Scientific & technical innovation |
| 8      | Separation of products by boiling point 1          | 3–4      | Change        | Transformation, Energy   | Scientific & technical innovation |
| 9      | Separation of products by boiling point 2          | 4–5      | Change        | Transformation, Energy   | Scientific & technical innovation |
| 10     | Melting point and density                          | 1–3      | Relationships | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 11     | Density                                            | 1–3      | Relationships | Patterns, Movement       | Scientific & technical innovation |
| 12     | Physical properties and identification of products | 1–3      | Change        | Patterns, Function       | Scientific & technical innovation |
| 13     | Nutrients                                          | 3–4      | Systems       | Function, Patterns       | Identities and relationships      |
| 14     | Heavy metal extraction                             | 4–5      | Change        | Transformation, Function | Globalization and sustainability  |
| 15     | Metal properties                                   | 1–3      | Relationships | Patterns, Function       | Scientific & technical innovation |
| 16     | The law of conservation of mass                    | 1–3      | Change        | Models, Patterns         | Scientific & technical innovation |
| 38     | Preparation of solution by dissolution             | 1–3      | Change        | Transformation, Models   | Scientific & technical innovation |
| 39     | Changing the solubility of a solid                 | 3–4      | Change        | Transformation, Energy   | Scientific & technical innovation |





|    |                                                            |     |               |                          |                                   |
|----|------------------------------------------------------------|-----|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 40 | Precipitation                                              | 3–4 | Change        | Transformation, Patterns | Scientific & technical innovation |
| 41 | Preparation of a solution                                  | 1–3 | Change        | Models, Function         | Scientific & technical innovation |
| 43 | Dilutions                                                  | 1–3 | Relationships | Models, Patterns         | Scientific & technical innovation |
| 46 | pH                                                         | 1–3 | Change        | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 47 | Acid-base titration 1                                      | 3–5 | Change        | Transformation, Models   | Scientific & technical innovation |
| 48 | pH of strong and weak acids                                | 3–5 | Change        | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 49 | Using pH indicators                                        | 1–3 | Change        | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 50 | Conductivity and pH                                        | 3–5 | Relationships | Patterns, Function       | Scientific & technical innovation |
| 51 | Stoichiometry                                              | 3–5 | Change        | Models, Transformation   | Scientific & technical innovation |
| 52 | Acid-base titration 2                                      | 4–5 | Change        | Transformation, Models   | Scientific & technical innovation |
| 53 | The pressure of gases                                      | 3–4 | Relationships | Patterns, Energy         | Scientific & technical innovation |
| 54 | The relationship between volume and pressure of a gas 1    | 3–4 | Relationships | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 55 | The relationship between volume and pressure of a gas 2    | 3–4 | Relationships | Patterns, Models         | Scientific & technical innovation |
| 56 | The relationship between a gas' temperature and its volume | 3–4 | Relationships | Patterns, Energy         | Scientific & technical innovation |



|    |                                                         |     |               |                        |                                   |
|----|---------------------------------------------------------|-----|---------------|------------------------|-----------------------------------|
| 57 | The relationship between gas solubility and temperature | 3–5 | Relationships | Patterns, Energy       | Scientific & technical innovation |
| 59 | Reaction speed and enthalpy                             | 4–5 | Change        | Transformation, Energy | Scientific & technical innovation |
| 60 | Reaction rate between molecules                         | 3–5 | Change        | Models, Movement       | Scientific & technical innovation |
| 61 | The influence of contact surface on reaction rate 1     | 3–4 | Change        | Patterns, Movement     | Scientific & technical innovation |
| 62 | The influence of contact surface on reaction rate 2     | 3–4 | Change        | Patterns, Movement     | Scientific & technical innovation |
| 63 | The influence of concentration on reaction rate 1       | 3–4 | Change        | Patterns, Movement     | Scientific & technical innovation |
| 64 | The influence of concentration on reaction rate 2       | 3–4 | Change        | Patterns, Movement     | Scientific & technical innovation |
| 65 | Hess's Law                                              | 4–5 | Change        | Energy, Models         | Scientific & technical innovation |
| 66 | Endothermic & exothermic reactions                      | 3–5 | Change        | Energy, Transformation | Scientific & technical innovation |
| 67 | Specific heat capacity                                  | 3–5 | Relationships | Energy, Patterns       | Scientific & technical innovation |
| 70 | The qualitative aspect of chemical equilibrium          | 4–5 | Systems       | Patterns, Balance      | Scientific & technical innovation |
| 71 | Le Chatelier's principle                                | 4–5 | Systems       | Patterns, Balance      | Scientific & technical innovation |
| 72 | Water electrolysis                                      | 4–5 | Change        | Transformation, Energy | Scientific & technical innovation |
| 73 | Conductivity                                            | 3–5 | Relationships | Patterns, Function     | Scientific & technical innovation |



## MYP Physics

| Lab No | Lab Name                                                                     | MYP Year | Key Concept   | Related Concepts     | Global Context                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------------------------------|
| 74     | Reading a resistor                                                           | 3–4      | Systems       | Models, Function     | Scientific & technical innovation |
| 75     | Electrical circuit assembly                                                  | 3–4      | Systems       | Models, Function     | Scientific & technical innovation |
| 76     | Assembling an electrical circuit in parallel                                 | 3–4      | Systems       | Models, Function     | Scientific & technical innovation |
| 77     | Impact of current on the brightness of a lamp                                | 3–4      | Relationships | Energy, Function     | Scientific & technical innovation |
| 78     | Static electricity                                                           | 3–4      | Change        | Force, Models        | Scientific & technical innovation |
| 79     | Magnetic fields                                                              | 3–5      | Relationships | Force, Models        | Scientific & technical innovation |
| 80     | Solenoids                                                                    | 4–5      | Relationships | Force, Function      | Scientific & technical innovation |
| 81     | Energy efficiency                                                            | 3–5      | Systems       | Energy, Consequences | Globalization and sustainability  |
| 110    | Kirchhoff law                                                                | 4–5      | Systems       | Models, Patterns     | Scientific & technical innovation |
| 82     | Effective force                                                              | 3–5      | Relationships | Force, Movement      | Scientific & technical innovation |
| 83     | The mechanical energy of a moving object                                     | 3–5      | Change        | Energy, Movement     | Scientific & technical innovation |
| 84     | Constant acceleration                                                        | 3–5      | Change        | Movement, Patterns   | Scientific & technical innovation |
| 85     | The relationship between the deformation of a spring and the restoring force | 3–5      | Relationships | Force, Patterns      | Scientific & technical innovation |



|     |                                                               |     |               |                  |                                   |
|-----|---------------------------------------------------------------|-----|---------------|------------------|-----------------------------------|
| 86  | The operation of a hoist                                      | 3–5 | Systems       | Force, Movement  | Scientific & technical innovation |
| 87  | Mechanical advantage in theater stage design                  | 3–5 | Systems       | Force, Function  | Personal & cultural expression    |
| 88  | The relationship between the resultant force and acceleration | 3–5 | Relationships | Force, Movement  | Scientific & technical innovation |
| 91  | Kinetic energy                                                | 3–5 | Change        | Energy, Movement | Scientific & technical innovation |
| 92  | Reverse bungee ( <i>TBD 2026</i> )                            | 3–5 | Change        | Energy, Force    | Scientific & technical innovation |
| 106 | Rolling motion on inclined ramps                              | 3–5 | Change        | Movement, Energy | Scientific & technical innovation |

## B. IB Diploma Programme — Sciences (ages 16–18)

### IB DP Biology

| Topic                   | Programme  | Syllabus Reference                 | Lab No | Lab Name                    |
|-------------------------|------------|------------------------------------|--------|-----------------------------|
| Cells                   | DP Biology | Cell structure                     | 24     | Observation of animal cells |
| Cells                   | DP Biology | Cell structure                     | 25     | Observation of plant cells  |
| Cells and diffusion     | DP Biology | Membrane transport, cell structure | 4      | Osmosis                     |
| Cycles and reproduction | DP Biology | Reproduction, adaptation           | 27     | Germination                 |
| Cycles, Ecosystems      | DP Biology | Transfer of energy and matter      | 33     | Observation of river water  |
| Enzymes                 | DP Biology | Enzyme activity                    | 29     | Observation of saliva       |
| Genetics                | DP Biology | DNA replication, inheritance       | 26     | Vegetal DNA                 |
| Human systems           | DP Biology | Integration of body systems        | 23     | Blood and blood groups      |
| Human systems           | DP Biology | Integration of body systems        | 21     | Centrifugation              |
| Organisms               | DP Biology | Metabolism and digestion           | 28     | Analysis of stools          |
| Organisms, metabolism   | DP Biology | Macronutrients, enzymes            | 13     | Nutrients                   |



## IB Codes Legend

**MYP Key Concepts** organize content at the broadest level: Change, Relationships, Systems, Communities.

**MYP Related Concepts** (Sciences):

- Biology: Balance, Consequences, Energy, Environment, Evidence, Form, Function, Interaction, Models, Movement, Patterns, Transformation
- Chemistry: Balance, Conditions, Consequences, Energy, Evidence, Form, Function, Interaction, Models, Movement, Patterns, Transformation
- Physics: Consequences, Development, Energy, Environment, Evidence, Form, Function, Interaction, Models, Movement, Patterns, Transformation

**MYP Global Contexts:** Identities and relationships; Orientation in space and time; Personal and cultural expression; Scientific and technical innovation; Globalization and sustainability; Fairness and development.

**DP codes** map to the current (2023) IB curriculum themes: **Structure** (1.1–1.5, 2.1–2.4, 3.1–3.2) and **Reactivity** (1.1–1.4, 2.1–2.3, 3.1–3.4) for Chemistry; **A** (Forces, energy, momentum), **B** (Particulate matter), **C** (Wave behaviour), **D** (Fields), **E** (Nuclear and quantum) for Physics; the four major DP Biology themes (Unity and diversity, Form and function, Interaction and interdependence, Continuity and change) for Biology.



# Next Generation Science Standards (NGSS) Disciplinary Core Ideas (DCI) Arrangements Mapping

This section deepens the existing DCI-level mapping in three ways:

1. **Performance Expectations (PEs)** are named explicitly. PE codes follow the format *[HS/MS]-[subject]-[number]*, e.g., HS-PS1-2 means “High School Physical Science 1, Performance Expectation 2.”
2. **Science and Engineering Practices (SEPs)** are tagged per lab. NGSS defines 8 SEPs; the most directly engaged are listed.
3. **Crosscutting Concepts (CCCs)** are tagged per lab. NGSS defines 7 CCCs.

Where a lab is appropriate for both middle school and high school audiences, both MS- and HS- PEs are listed.

## A. NGSS Mapping (in order of Proteus Labs)

### Tutorials and Introductory Skills

| Lab | Lab Name                               | Primary PE(s)       | Secondary PE(s) | SEPs                                                                              | CCCs                                             |
|-----|----------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1   | Balance Tutorial                       | HS-ETS1-1           | MS-PS1-7        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)                              | CCC 3 (Scale, proportion, quantity)              |
| 2   | Introduction Tutorial                  | HS-ETS1-1; HS-PS1-3 | MS-PS1-3        | SEP 3 (Planning investigations)                                                   | CCC 1 (Patterns); CCC 6 (Structure and function) |
| 3   | Volume Tutorial                        | HS-PS1-3            | MS-PS1-1        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)                              | CCC 3 (Scale, proportion, quantity)              |
| 34  | Introduction to laboratory safety      | HS-ETS1-1           | —               | SEP 1 (Asking questions and defining problems); SEP 8 (Communicating information) | CCC 6 (Structure and function)                   |
| 42  | Introduction to laboratory instruments | HS-ETS1-1           | —               | SEP 3 (Planning investigations); SEP 8 (Communicating information)                | CCC 6 (Structure and function)                   |

### Chemical and Physical Properties

| Lab | Lab Name | Primary PE(s)      | Secondary PE(s) | SEPs                                              | CCCs                                                            |
|-----|----------|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 4   | Osmosis  | HS-LS1-2; HS-LS1-3 | MS-LS1-3        | SEP 2 (Developing models); SEP 4 (Analyzing data) | CCC 4 (Systems and system models); CCC 7 (Stability and change) |



|    |                                                    |                     |                    |                                                                    |                                                           |
|----|----------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 5  | Identification of elements through bright flames   | HS-PS1-1; HS-PS4-3  | MS-PS1-1           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 8 (Communicating information)          | CCC 1 (Patterns)                                          |
| 6  | Gas identification                                 | HS-PS1-3            | MS-PS1-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)          | CCC 1 (Patterns); CCC 6 (Structure and function)          |
| 7  | Separation of solid and liquid products            | HS-PS1-3            | MS-PS1-2           | SEP 3 (Planning investigations)                                    | CCC 6 (Structure and function)                            |
| 8  | Separation of products by boiling point 1          | HS-PS1-3            | MS-PS1-4           | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)               | CCC 5 (Energy and matter); CCC 7 (Stability and change)   |
| 9  | Separation of products by boiling point 2          | HS-PS1-3            | MS-PS1-4           | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)               | CCC 5 (Energy and matter)                                 |
| 10 | Melting point and density                          | HS-PS1-3            | MS-PS1-1           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                        | CCC 1 (Patterns); CCC 6 (Structure and function)          |
| 11 | Density                                            | HS-PS1-3            | MS-PS1-1           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                        | CCC 3 (Scale, proportion, quantity)                       |
| 12 | Physical properties and identification of products | HS-PS1-3            | MS-PS1-1; MS-PS1-2 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)          | CCC 1 (Patterns); CCC 6 (Structure and function)          |
| 13 | Nutrients                                          | HS-LS1-6            | MS-LS1-7           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)          | CCC 5 (Energy and matter); CCC 6 (Structure and function) |
| 14 | Heavy metal extraction                             | HS-PS1-2; HS-ESS3-4 | MS-PS1-2           | SEP 3 (Planning investigations); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 5 (Energy and matter)                                 |
| 15 | Metal properties                                   | HS-PS1-1; HS-PS1-2  | MS-PS1-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)          | CCC 1 (Patterns); CCC 6 (Structure and function)          |
| 16 | The law of conservation of mass                    | HS-PS1-7            | MS-PS1-5           | SEP 5 (Mathematics); SEP 6 (Constructing explanations)             | CCC 5 (Energy and matter)                                 |

## Biology

| Lab | Lab Name       | Primary PE(s) | Secondary PE(s) | SEPs                            | CCCs                           |
|-----|----------------|---------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 21  | Centrifugation | HS-LS1-2      | MS-LS1-2        | SEP 3 (Planning investigations) | CCC 6 (Structure and function) |



|    |                                                |                                |                     |                                                                      |                                                                   |
|----|------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 23 | Blood and blood groups                         | HS-LS1-2                       | MS-LS1-3            | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)            | CCC 4 (Systems and system models); CCC 6 (Structure and function) |
| 24 | Observation of animal cells                    | HS-LS1-2                       | MS-LS1-1; MS-LS1-2  | SEP 2 (Developing models); SEP 6 (Constructing explanations)         | CCC 4 (Systems and system models); CCC 6 (Structure and function) |
| 25 | Observation of plant cells                     | HS-LS1-2                       | MS-LS1-1; MS-LS1-2  | SEP 2 (Developing models); SEP 6 (Constructing explanations)         | CCC 4 (Systems and system models); CCC 6 (Structure and function) |
| 26 | Vegetal DNA                                    | HS-LS3-1                       | MS-LS3-1            | SEP 1 (Asking questions); SEP 3 (Planning investigations)            | CCC 6 (Structure and function)                                    |
| 27 | Germination                                    | HS-LS1-5                       | MS-LS1-5            | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)              | CCC 5 (Energy and matter); CCC 7 (Stability and change)           |
| 28 | Analysis of stools                             | HS-LS1-7                       | MS-LS1-7            | SEP 6 (Constructing explanations); SEP 8 (Communicating information) | CCC 5 (Energy and matter)                                         |
| 29 | Observation of saliva                          | HS-LS1-6                       | MS-LS1-7            | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)              | CCC 5 (Energy and matter); CCC 6 (Structure and function)         |
| 30 | Chemistry of river water                       | HS-LS2-7; HS-ESS3-3; HS-ESS3-4 | MS-LS2-1; MS-ESS3-3 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 7 (Engaging in argument from evidence)   | CCC 2 (Cause and effect); CCC 4 (Systems and system models)       |
| 31 | Köhler illumination ( <i>TBD 2026</i> )        | HS-PS4-3                       | MS-PS4-2            | SEP 3 (Planning investigations)                                      | CCC 6 (Structure and function)                                    |
| 32 | Focusing microscope ( <i>TBD 2026</i> )        | HS-PS4-3                       | MS-PS4-2            | SEP 3 (Planning investigations)                                      | CCC 6 (Structure and function)                                    |
| 33 | Observation of river water ( <i>TBD 2026</i> ) | HS-LS2-7; HS-PS4-3             | MS-LS2-1            | SEP 4 (Analyzing data); SEP 7 (Engaging in argument from evidence)   | CCC 4 (Systems and system models)                                 |





## Solutions

| Lab | Lab Name                               | Primary PE(s) | Secondary PE(s) | SEPs                                                 | CCCs                                                |
|-----|----------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 38  | Preparation of solution by dissolution | HS-PS1-3      | MS-PS1-4        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics) | CCC 5 (Energy and matter)                           |
| 39  | Changing the solubility of a solid     | HS-PS1-5      | MS-PS1-4        | SEP 4 (Analyzing data)                               | CCC 2 (Cause and effect); CCC 5 (Energy and matter) |
| 40  | Precipitation                          | HS-PS1-2      | MS-PS1-2        | SEP 6 (Constructing explanations)                    | CCC 5 (Energy and matter)                           |
| 41  | Preparation of a solution              | HS-PS1-7      | MS-PS1-1        | SEP 5 (Mathematics)                                  | CCC 3 (Scale, proportion, quantity)                 |
| 43  | Dilutions                              | HS-PS1-7      | MS-PS1-1        | SEP 5 (Mathematics)                                  | CCC 3 (Scale, proportion, quantity)                 |

## Acids and Bases

| Lab | Lab Name                    | Primary PE(s)      | Secondary PE(s) | SEPs                                                      | CCCs                                |
|-----|-----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 46  | pH                          | HS-PS1-2           | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)   | CCC 1 (Patterns)                    |
| 47  | Acid-base titration 1       | HS-PS1-2; HS-PS1-7 | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)      | CCC 3 (Scale, proportion, quantity) |
| 48  | pH of strong and weak acids | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 1 (Patterns)                    |
| 49  | Using pH indicators         | HS-PS1-2           | MS-PS1-2        | SEP 4 (Analyzing data)                                    | CCC 1 (Patterns)                    |
| 50  | Conductivity and pH         | HS-PS1-2           | MS-PS1-2        | SEP 4 (Analyzing data)                                    | CCC 2 (Cause and effect)            |
| 51  | Stoichiometry               | HS-PS1-7           | MS-PS1-5        | SEP 5 (Mathematics); SEP 6 (Constructing explanations)    | CCC 5 (Energy and matter)           |
| 52  | Acid-base titration 2       | HS-PS1-2; HS-PS1-7 | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 5 (Mathematics)      | CCC 5 (Energy and matter)           |

## Gases

| Lab | Lab Name | Primary PE(s) | Secondary PE(s) | SEPs | CCCs |
|-----|----------|---------------|-----------------|------|------|
|-----|----------|---------------|-----------------|------|------|



|    |                                                            |                       |          |                                             |                                             |
|----|------------------------------------------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 53 | The pressure of gases                                      | HS-PS1-3;<br>HS-PS3-2 | MS-PS1-4 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics) | CCC 5 (Energy and matter)                   |
| 54 | The relationship between volume and pressure of a gas 1    | HS-PS3-2              | MS-PS1-4 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics) | CCC 1 (Patterns); CCC 5 (Energy and matter) |
| 55 | The relationship between volume and pressure of a gas 2    | HS-PS3-2              | MS-PS1-4 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics) | CCC 1 (Patterns); CCC 5 (Energy and matter) |
| 56 | The relationship between a gas' temperature and its volume | HS-PS3-2              | MS-PS1-4 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics) | CCC 1 (Patterns); CCC 5 (Energy and matter) |
| 57 | The relationship between gas solubility and temperature    | HS-PS1-5;<br>HS-PS3-2 | MS-PS1-4 | SEP 4 (Analyzing data)                      | CCC 1 (Patterns); CCC 5 (Energy and matter) |

## Kinetics and Thermodynamics

| Lab | Lab Name                                            | Primary PE(s)      | Secondary PE(s) | SEPs                                                               | CCCs                                                    |
|-----|-----------------------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 59  | Reaction rate and enthalpy                          | HS-PS1-4; HS-PS1-5 | MS-PS1-6        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 5 (Energy and matter); CCC 7 (Stability and change) |
| 60  | Reaction rate between molecules                     | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 2 (Developing models); SEP 4 (Analyzing data)                  | CCC 2 (Cause and effect)                                |
| 61  | The influence of contact surface on reaction rate 1 | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)            | CCC 2 (Cause and effect)                                |
| 62  | The influence of contact surface on reaction rate 2 | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)            | CCC 2 (Cause and effect)                                |
| 63  | The influence of concentration on reaction rate 1   | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)            | CCC 2 (Cause and effect)                                |
| 64  | The influence of concentration on reaction rate 2   | HS-PS1-5           | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 4 (Analyzing data)            | CCC 2 (Cause and effect)                                |
| 65  | Hess's Law                                          | HS-PS1-4           | MS-PS1-6        | SEP 5 (Mathematics); SEP 6 (Constructing explanations)             | CCC 5 (Energy and matter)                               |
| 66  | Endothermic & exothermic reactions                  | HS-PS1-4           | MS-PS1-6        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 6                             | CCC 5 (Energy and matter)                               |



|    |                        |          |                       |                             |                                                         |
|----|------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|
|    |                        |          |                       | (Constructing explanations) |                                                         |
| 67 | Specific heat capacity | HS-PS3-4 | MS-PS3-3;<br>MS-PS3-4 | SEP 5 (Mathematics)         | CCC 5 (Energy and matter); CCC 7 (Stability and change) |

## Chemical Equilibrium

| Lab | Lab Name                                       | Primary PE(s) | Secondary PE(s) | SEPs                                                                        | CCCs                                                   |
|-----|------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 70  | The qualitative aspect of chemical equilibrium | HS-PS1-6      | —               | SEP 2 (Developing models); SEP 6 (Constructing explanations)                | CCC 7 (Stability and change)                           |
| 71  | Le Chatelier's principle                       | HS-PS1-6      | —               | SEP 3 (Planning investigations); SEP 7 (Engaging in argument from evidence) | CCC 2 (Cause and effect); CCC 7 (Stability and change) |

## Electrochemistry

| Lab | Lab Name           | Primary PE(s)         | Secondary PE(s) | SEPs                                                               | CCCs                      |
|-----|--------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 72  | Water electrolysis | HS-PS1-2;<br>HS-PS3-1 | MS-PS1-2        | SEP 3 (Planning investigations); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 5 (Energy and matter) |
| 73  | Conductivity       | HS-PS1-2;<br>HS-PS3-3 | MS-PS1-2        | SEP 4 (Analyzing data)                                             | CCC 2 (Cause and effect)  |

## Electricity

| Lab | Lab Name                                      | Primary PE(s) | Secondary PE(s) | SEPs                                                       | CCCs                                                |
|-----|-----------------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 74  | Reading a resistor                            | HS-PS3-3      | MS-PS3-3        | SEP 8 (Communicating information)                          | CCC 6 (Structure and function)                      |
| 75  | Electrical circuit assembly                   | HS-PS3-3      | MS-PS3-3        | SEP 2 (Developing models); SEP 3 (Planning investigations) | CCC 4 (Systems and system models)                   |
| 76  | Assembling an electrical circuit in parallel  | HS-PS3-3      | MS-PS3-3        | SEP 2 (Developing models); SEP 3 (Planning investigations) | CCC 4 (Systems and system models)                   |
| 77  | Impact of current on the brightness of a lamp | HS-PS3-3      | MS-PS3-3        | SEP 4 (Analyzing data)                                     | CCC 2 (Cause and effect); CCC 5 (Energy and matter) |
| 78  | Static electricity                            | HS-PS2-4      | MS-PS2-3        | SEP 2 (Developing models); SEP 3 (Planning investigations) | CCC 2 (Cause and effect)                            |



|     |                   |                    |                       |                                                            |                                                                   |
|-----|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 79  | Magnetic fields   | HS-PS2-5           | MS-PS2-3;<br>MS-PS2-5 | SEP 2 (Developing models); SEP 3 (Planning investigations) | CCC 2 (Cause and effect); CCC 6 (Structure and function)          |
| 80  | Solenoids         | HS-PS2-5; HS-PS3-5 | MS-PS2-3              | SEP 2 (Developing models); SEP 3 (Planning investigations) | CCC 4 (Systems and system models); CCC 6 (Structure and function) |
| 81  | Energy efficiency | HS-PS3-3           | MS-PS3-3              | SEP 4 (Analyzing data); SEP 6 (Constructing explanations)  | CCC 5 (Energy and matter)                                         |
| 110 | Kirchhoff law     | HS-PS3-3           | MS-PS3-3              | SEP 5 (Mathematics); SEP 6 (Constructing explanations)     | CCC 4 (Systems and system models); CCC 5 (Energy and matter)      |

## Physics (Mechanics)

| Lab | Lab Name                                                                     | Primary PE(s)       | Secondary PE(s)    | SEPs                                                         | CCCs                                                              |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 82  | Effective force                                                              | HS-PS2-1            | MS-PS2-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                  | CCC 2 (Cause and effect)                                          |
| 83  | The mechanical energy of a moving object                                     | HS-PS3-1; HS-PS3-2  | MS-PS3-1; MS-PS3-5 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                  | CCC 5 (Energy and matter)                                         |
| 84  | Constant acceleration                                                        | HS-PS2-1            | MS-PS2-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                  | CCC 1 (Patterns)                                                  |
| 85  | The relationship between the deformation of a spring and the restoring force | HS-PS2-1            | MS-PS2-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                  | CCC 1 (Patterns); CCC 2 (Cause and effect)                        |
| 86  | The operation of a hoist                                                     | HS-PS3-3            | MS-PS3-5           | SEP 2 (Developing models); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 4 (Systems and system models); CCC 5 (Energy and matter)      |
| 87  | Mechanical advantage in theater stage design                                 | HS-PS3-3; HS-ETS1-2 | MS-PS3-5           | SEP 2 (Developing models); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 4 (Systems and system models); CCC 6 (Structure and function) |
| 88  | The relationship between the resultant force and acceleration                | HS-PS2-1            | MS-PS2-2           | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)                  | CCC 2 (Cause and effect)                                          |



|     |                                    |                    |          |                                                        |                           |
|-----|------------------------------------|--------------------|----------|--------------------------------------------------------|---------------------------|
| 91  | Kinetic energy                     | HS-PS3-1; HS-PS3-2 | MS-PS3-1 | SEP 5 (Mathematics); SEP 6 (Constructing explanations) | CCC 5 (Energy and matter) |
| 92  | Reverse bungee ( <i>TBD 2026</i> ) | HS-PS2-1; HS-PS3-2 | MS-PS3-5 | SEP 2 (Developing models); SEP 4 (Analyzing data)      | CCC 5 (Energy and matter) |
| 106 | Rolling motion on inclined ramps   | HS-PS2-1; HS-PS3-2 | MS-PS2-2 | SEP 4 (Analyzing data); SEP 5 (Mathematics)            | CCC 5 (Energy and matter) |

## B. NGSS Mapping (in order of NGSS Performance Expectation)

The same lab-to-PE links above, organized by PE code, give a teacher who's lesson-planning around a specific NGSS standard a one-stop list of relevant Proteus labs.

### Middle School — Physical Sciences

| PE Code  | Performance Expectation (paraphrased)             | Proteus Labs                                                |
|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| MS-PS1-1 | Develop models of atoms and molecules             | 3, 10, 11, 12, 41, 43                                       |
| MS-PS1-2 | Analyze and interpret data on chemical properties | 6, 7, 12, 14, 15, 40, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 60–64, 72, 73 |
| MS-PS1-3 | Synthetic materials from natural resources        | 2                                                           |
| MS-PS1-4 | Develop models predicting state changes           | 8, 9, 38, 39, 53, 54, 55, 56, 57                            |
| MS-PS1-5 | Conservation of mass in reactions                 | 16, 51                                                      |
| MS-PS1-6 | Design devices using endo/exothermic reactions    | 59, 65, 66                                                  |
| MS-PS1-7 | Engineering: measurement and tools                | 1                                                           |
| MS-PS2-2 | Forces and motion                                 | 82, 84, 85, 88, 106                                         |
| MS-PS2-3 | Electric and magnetic forces                      | 78, 79, 80                                                  |
| MS-PS2-5 | Fields between objects                            | 79                                                          |
| MS-PS3-1 | Kinetic energy and mass/speed                     | 83, 91                                                      |
| MS-PS3-3 | Thermal energy transfer                           | 67, 74, 75, 76, 77, 81, 110                                 |



|          |                                                 |                |
|----------|-------------------------------------------------|----------------|
| MS-PS3-4 | Plan investigations on temperature/mass changes | 67             |
| MS-PS3-5 | Energy transfer in collisions                   | 83, 86, 87, 92 |
| MS-PS4-2 | Reflection, absorption, transmission of waves   | 31, 32         |

## Middle School — Life Sciences

| PE Code  | Performance Expectation (paraphrased)          | Proteus Labs |
|----------|------------------------------------------------|--------------|
| MS-LS1-1 | Cells as basic unit of life                    | 24, 25       |
| MS-LS1-2 | Develop models of cell parts                   | 21, 24, 25   |
| MS-LS1-3 | Organism body systems                          | 4, 23        |
| MS-LS1-5 | Environmental and genetic factors on growth    | 27           |
| MS-LS1-7 | Food rearranged through chemical reactions     | 13, 28, 29   |
| MS-LS2-1 | Resource availability and organism populations | 30, 33       |
| MS-LS3-1 | DNA as the source of genetic information       | 26           |

## Middle School — Earth and Space Sciences

| PE Code   | Performance Expectation (paraphrased)         | Proteus Labs |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------|
| MS-ESS3-3 | Method to monitor human impact on environment | 30           |

## High School — Physical Sciences

| PE Code  | Performance Expectation (paraphrased)    | Proteus Labs                           |
|----------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| HS-PS1-1 | Periodic table predicts properties       | 5, 15                                  |
| HS-PS1-2 | Outcomes of simple chemical reactions    | 14, 15, 40, 46, 47, 49, 50, 52, 72, 73 |
| HS-PS1-3 | Investigate substance properties         | 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 38, 53   |
| HS-PS1-4 | Energy changes in chemical bonds         | 59, 65, 66                             |
| HS-PS1-5 | Concentration and rate of reaction       | 39, 48, 57, 59, 60–64                  |
| HS-PS1-6 | Equilibrium and Le Chatelier             | 70, 71                                 |
| HS-PS1-7 | Mass conservation in reactions           | 16, 41, 43, 47, 51, 52                 |
| HS-PS2-1 | Newton's second law, $F=ma$              | 82, 84, 85, 88, 92, 106                |
| HS-PS2-4 | Coulomb's law and charges                | 78                                     |
| HS-PS2-5 | Electric current produces magnetic field | 79, 80                                 |
| HS-PS3-1 | Energy transfer model                    | 72, 83, 91                             |
| HS-PS3-2 | Energy at macroscopic vs molecular scale | 53, 54, 55, 56, 57, 83, 91, 92, 106    |
| HS-PS3-3 | Energy conversion devices                | 73, 74, 75, 76, 77, 81, 86, 87, 110    |
| HS-PS3-4 | Calorimetry / thermal equilibrium        | 67                                     |
| HS-PS3-5 | Forces between objects at distance       | 80                                     |
| HS-PS4-3 | Wave / particle nature of EM radiation   | 5, 31, 32, 33                          |



## High School — Life Sciences

| PE Code  | Performance Expectation (paraphrased)             | Proteus Labs      |
|----------|---------------------------------------------------|-------------------|
| HS-LS1-2 | Hierarchical organization of body systems         | 4, 21, 23, 24, 25 |
| HS-LS1-3 | Feedback maintains homeostasis                    | 4                 |
| HS-LS1-5 | Photosynthesis                                    | 27                |
| HS-LS1-6 | Carbon-based molecules in living systems          | 13, 29            |
| HS-LS1-7 | Cellular respiration                              | 28                |
| HS-LS2-7 | Reduce impact of human activities on biodiversity | 30, 33            |
| HS-LS3-1 | DNA and inheritance                               | 26                |

## High School — Earth and Space / Engineering

| PE Code   | Performance Expectation (paraphrased)         | Proteus Labs |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------|
| HS-ESS3-3 | Sustainability and biodiversity               | 30           |
| HS-ESS3-4 | Reduce impact of human activities             | 14, 30       |
| HS-ETS1-1 | Engineering design — define problems          | 1, 2, 34, 42 |
| HS-ETS1-2 | Break problems into smaller solvable problems | 87           |

---



## NGSS Codes Legend

**Performance Expectation (PE) format:** *[HS/MS]-[discipline][topic]-[number]*

- HS = high school grades 9–12; MS = middle school grades 6–8
- Disciplines: **PS** = Physical Sciences; **LS** = Life Sciences; **ESS** = Earth and Space Sciences; **ETS** = Engineering, Technology, and Applications of Science
- Topic number identifies the DCI within that discipline (PS1 = Matter and Its Interactions; PS2 = Motion and Stability; PS3 = Energy; PS4 = Waves; LS1 = From Molecules to Organisms; LS2 = Ecosystems; LS3 = Heredity; LS4 = Biological Evolution; ESS1 = Earth’s Place in the Universe; ESS2 = Earth’s Systems; ESS3 = Earth and Human Activity; ETS1 = Engineering Design)
- The final number identifies the specific PE within the topic

### **Science and Engineering Practices (8 SEPs):**

1. Asking questions (science) and defining problems (engineering)
2. Developing and using models
3. Planning and carrying out investigations
4. Analyzing and interpreting data
5. Using mathematics and computational thinking
6. Constructing explanations (science) and designing solutions (engineering)
7. Engaging in argument from evidence
8. Obtaining, evaluating, and communicating information

### **Crosscutting Concepts (7 CCCs):**

1. Patterns
2. Cause and effect: mechanism and explanation
3. Scale, proportion, and quantity
4. Systems and system models
5. Energy and matter: flows, cycles, and conservation
6. Structure and function
7. Stability and change





# 001 — Tutoriel de Balance

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Measurement skills   |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                     |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-ETS1-1 · SEP 3, SEP 5 · CCC 3 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-7                         |
| <b>Summary</b>             | Mass measurement and precision   |



## APERÇU

La balance à triple fléau est l'un des instruments les plus anciens encore utilisés quotidiennement en laboratoire, et l'un des plus fiables : elle compare la masse inconnue placée sur son plateau à des masses étalons coulissantes sur trois fléaux gradués, en n'utilisant que le principe du levier. Parce qu'elle compare des masses plutôt de mesurer une force, sa lecture ne dépend pas de la force de gravité et elle ne nécessite ni piles ni courbe d'étalonnage — seulement un plateau propre et un index correctement remis à zéro. La pesée est l'opération la plus courante en science expérimentale, et presque tous les laboratoires quantitatifs de ce catalogue commencent par elle. Dans ce tutoriel, vous apprendrez la routine complète de pesée sur une balance à triple fléau : la mise à zéro et l'étalonnage de l'instrument, la pesée d'un solide en morceaux (rubans de magnésium) et d'un solide en poudre (oxyde de magnésium), ainsi que l'obtention de la masse de chaque substance par soustraction — en pesant d'abord la nacelle vide, de sorte que la masse du récipient soit éliminée du résultat.

## OBJECTIFS

- Fonctionnement de la balance à triple faisceau
- Technique de pesée
- Comprendre la précision
- Habitudes de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/tutoriel-dequilibre/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/tutoriel-dequilibre/)

## 002 — Tutoriel d'introduction

|                            |                                                           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Foundational skills / Nature of Science       |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                              |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-ETS1-1; HS-PS1-3 · SEP 3 · CCC 1, CCC 6                |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-3                                                  |
| <b>Summary</b>             | Virtual lab orientation and personal protective equipment |



### APERÇU

Chaque laboratoire de ce catalogue fonctionne au sein du même environnement virtuel, et c'est dans ce tutoriel que l'on en apprend les mécanismes. La simulation immersive est désormais un outil de formation standard dans l'enseignement scientifique pour la même raison que les simulateurs de vol sont la norme en aviation : l'étudiant s'exerce à de véritables procédures — enfiler un équipement de protection, peser, mesurer des volumes, tester le pH — sans aucun des risques liés aux produits chimiques réels et avec la liberté de recommencer à tout moment. Les techniques elles-mêmes sont authentiques : une balance électronique est tarée avant utilisation, un volume se lit au bas du ménisque, et le pH d'une solution s'évalue en comparant la couleur d'un indicateur à un nuancier. Dans ce tutoriel, vous apprendrez à vous déplacer et à interagir dans le laboratoire virtuel à l'aide du suivi des mains ou des manettes, à enfiler l'équipement de protection individuelle, puis à relever quatre petits défis : peser un solide en poudre sur la balance électronique, mesurer un volume de liquide avec une éprouvette graduée, préparer une solution à partir d'un échantillon solide et vérifier son pH avec un indicateur, et enfin consulter et envoyer vos résultats depuis la tablette.

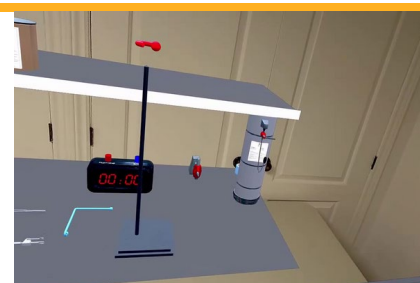
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement virtuel
- Utilisation d'équipements de protection
- Mesure des substances
- Expérimentation chimique de base
- Analyse et communication des résultats

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/introduction-tutoriel/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/introduction-tutoriel/)

## 003 — Tutoriel sur le volume

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Measurement of matter |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 3, SEP 5 · CCC 3   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                          |
| <b>Summary</b>             | Volume measurement across states  |



### APERÇU

Le volume se mesure différemment pour chaque état de la matière, et ce tutoriel enseigne les trois techniques en une seule session. Un liquide peut être versé dans une éprouvette graduée et lu directement — à condition de faire la lecture à la base du ménisque, la courbe que la tension superficielle du liquide forme contre le verre. Un solide, en particulier un solide de forme irrégulière qu'aucune règle ne peut mesurer, se mesure par déplacement : immergé dans un vase d'excentricité plein à ras bord, il chasse exactement son propre volume d'eau, qui est récupéré et lu dans une éprouvette. Un gaz se mesure en le laissant déplacer l'eau d'une burette inversée et remplie d'eau — les bulles de gaz remontent, le niveau d'eau baisse, et les graduations indiquent l'espace que le gaz a conquis. Dans ce tutoriel, vous mesurerez 70 mL d'eau dans une éprouvette graduée, déterminerez le volume de cinq morceaux de plomb à l'aide du vase de trop-plein, et recueillerez un gaz sur de l'eau dans une burette tandis qu'un chronomètre et le graphique Volume en fonction du Temps de la tablette enregistrent le débit.

### OBJECTIFS

- Technique de mesure pour chaque état de la matière
- Application des principes physiques
- Manipulation des instruments
- Lecture et enregistrement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/tutoriel-de-volume/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/tutoriel-de-volume/)

## 034 — Introduction à la sécurité en laboratoire

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Laboratory safety & ethics |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                           |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-ETS1-1 · SEP 1, SEP 8 · CCC 6       |
| <b>NGSS (MS)</b>           | —                                      |
| <b>Summary</b>             | Laboratory safety and risk awareness   |



### APERÇU

La sécurité en laboratoire est l'ensemble des pratiques qui rendent le travail expérimental possible. Dans un laboratoire de recherche, industriel ou d'enseignement, chaque procédure est précédée d'une évaluation de ce qui pourrait mal tourner, et par le choix d'équipement et de comportement qui empêche un incident prévisible de se transformer en blessure. Un laboratoire scolaire contient des flammes nues, des surfaces chaudes, des instruments alimentés par le secteur, des substances corrosives et inflammables ainsi que de la verrerie fragile, et chacun de ces dangers est géré par une combinaison spécifique de trois éléments : un équipement de protection porté sur le corps, une procédure suivie dans un ordre fixe, et un dispositif d'urgence dont l'emplacement est connu avant d'être nécessaire.

Deux de ces dangers sont explicités ici, et ils se comportent de manière très différente. La flamme d'un bec Bunsen libère l'énergie chimique d'un hydrocarbure à une température proche de 1 500 °C et se signale d'elle-même : elle est lumineuse, bruyante et sans équivoque. Une plaque chauffante à 100 °C est tout à fait capable de provoquer une brûlure et ne signale rien du tout, car une surface ne commence à luire dans le spectre visible qu'aux alentours de 500 °C. L'énergie continue pourtant de quitter la plaque — sous forme d'une colonne montante d'air chaud et de rayonnement infrarouge dont la longueur d'onde maximale se situe bien au-delà de ce que l'œil peut détecter — de sorte que le danger doit être déduit de l'affichage de l'instrument et de la procédure plutôt que d'être vu. Apprendre à traiter une surface non marquée comme dangereuse est l'habitude la plus transférable de toute cette activité.

Dans ce laboratoire, vous mettrez l'équipement de protection approprié à la tâche, utiliserez un pointeur laser pour localiser et nommer l'équipement d'urgence de la salle, puis observerez tour à tour les deux sources de chaleur : la flamme d'un bec bunsen et la surface d'une plaque chauffante portée à 100 °C puis éteinte. Aucune mesure n'est recueillie et aucune substance n'est consommée. Le produit de l'exercice est un ensemble de comportements, un vocabulaire et une carte mentale de la salle, que tout laboratoire ultérieur suppose que l'étudiant possède déjà.

### OBJECTIFS

- Sélection et utilisation des équipements de protection individuelle
- Emplacement et utilité des équipements d'urgence
- Manipulation sécurisée des sources de chaleur
- Reconnaissance d'un danger qui ne donne aucun signal visuel
- Règlement de laboratoire et conduite personnelle
- Transférer vers d'autres environnements de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/034-securite-en-laboratoire/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/034-securite-en-laboratoire/)

## 042 — Introduction aux instruments de laboratoire

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Experimental techniques |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-ETS1-1 · SEP 3, SEP 8 · CCC 6    |
| <b>NGSS (MS)</b>           | —                                   |
| <b>Summary</b>             | Identification and use of equipment |



### APERÇU

Chaque résultat expérimental commence par le choix d'un instrument. Une paillasse de laboratoire contient de la verrerie qui semble interchangeable mais ne l'est pas : un bécavior et une fiole jaugée peuvent tous deux contenir 100 mL, mais l'un comporte des graduations par commodité tandis que l'autre est étalonné pour un volume unique à un dixième de millilitre près. Savoir lequel est lequel, et manipuler chacun correctement, fait la différence entre une mesure et une estimation. Dans un laboratoire en activité, c'est aussi la différence entre une séance de routine et une burette cassée, un réactif renversé ou une brûlure chimique, c'est pourquoi la pratique professionnelle place la familiarité avec le matériel avant toute procédure.

Le principe sous-tendant la distinction est simple et quantitatif : chaque instrument a une tolérance, et la tolérance de l'instrument le moins précis utilisé dans une procédure détermine la précision du résultat final. Les instruments se trient également naturellement par fonction plutôt que par apparence — certains mesurent une quantité, certains contiennent seulement un liquide, certains le transfèrent, certains maintiennent un autre équipement stable, et certains détectent électroniquement une propriété physique. Les apprendre par fonction est bien plus utile que de mémoriser une liste de noms, car c'est la fonction qui décide quel instrument une expérience donnée requiert.

Ce laboratoire n'a aucune réaction à mener et aucune donnée à collecter. Vous parcourrez la paillasse de manière systématique, en localisant et en ramassant chaque objet tour à tour : la pissette, l'éprouvette graduée, le bécher, l'erenmeyer, la fiole jaugée, le tube à essai, la pipette pasteur, la spatule, les pinces, le thermomètre, le pH-mètre, le agitateur en verre, la pince universelle, la règle, le rapporteur, le récipient d'acide, le chronomètre, la pipette, la coupelle de pesée, la burette et l'entonnoir, pour finir par placer un barreau aimanté dans le bécher et le couvercle sur le calorimètre. L'objectif est la reconnaissance et la manipulation correcte, afin que chaque laboratoire suivant puisse se consacrer à la science plutôt qu'à l'équipement.

### OBJECTIFS

- Reconnaissance de l'inventaire standard du banc
- Classification par fonction
- Comprendre la précision et la tolérance
- Manipulation correcte des équipements fragiles et précis
- Manipulation sûre d'un réactif corrosif
- Organisation de l'espace de travail

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/042-instruments-introduction/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/042-instruments-introduction/)

## 004 — Osmose

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Cells and diffusion                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Membrane transport, cell structure               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-2; HS-LS1-3 · SEP 2, SEP 4 · CCC 4, CCC 7 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-3                                         |
| <b>Summary</b>             | Diffusion and osmosis demonstration              |



### APERÇU

Chaque cellule vivante est entourée d'une membrane qui laisse passer certaines substances et en retient d'autres. Cette sélectivité est ce qui permet à une cellule de conserver ses protéines et ses sucres tout en échangeant de l'eau, des sels et des nutriments avec son environnement. Le même principe est utilisé industriellement pour la purification de l'eau et, de manière plus familière, dans la dialyse rénale, où une machine effectue la filtration qu'un rein défaillant ne peut plus assurer.

Une membrane de ce type est décrite comme sélectivement perméable: il est perforé par des pores d'une taille particulière, et la possibilité pour une substance dissoute de le traverser dépend principalement de la taille de ses molécules. Les petites molécules et les ions le traversent facilement et se dispersent par diffusion, se déplaçant des zones où ils sont concentrés vers celles où ils sont dilués jusqu'à ce qu'ils soient répartis uniformément. Les grosses molécules sont tout simplement trop grandes pour passer et restent là où elles sont. L'eau elle-même le traverse librement dans les deux sens, et son mouvement net vers le côté le plus concentré est ce que l'on appelle proprement l'osmose.

Dans ce laboratoire, vous remplirez un sac de dialyse d'un mélange de trois substances de tailles moléculaires très différentes — l'amidon, le chlorure de sodium et le glucose — et vous le suspendrez dans un bécher d'eau distillée. Une fois que le système aura eu le temps de faire des échanges, vous testerez à la fois l'eau entourant le sac et le contenu du sac lui-même pour ces trois substances, en utilisant un test chimique spécifique pour chacune. En comparant quelles substances apparaissent à l'extérieur du sac et lesquelles n'y apparaissent pas, vous établirez la limite de taille de la membrane sans jamais mesurer de pore.

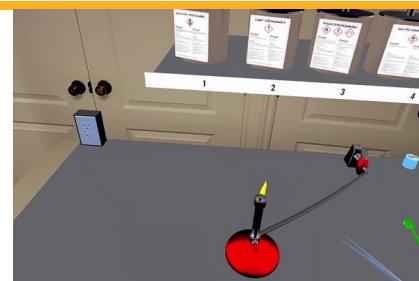
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection
- Assemblage et manipulation d'une membrane de dialyse
- Transfert précis de petits volumes
- Réalisation de trois tests chimiques spécifiques
- Différencier la diffusion de l'osmose
- Raisonnement à partir d'une mesure indirecte

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/osmose/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/osmose/)

## 005 — Identification des éléments par des flammes vives

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Atomic structure              |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | The nuclear atom, periodic table          |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-1; HS-PS4-3 · SEP 4, SEP 8 · CCC 1 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                                  |
| <b>Summary</b>             | Flame tests and element identification    |



### APERÇU

Chaque élément, lorsque l'on fournit à ses atomes suffisamment d'énergie, émet de la lumière à un ensemble de longueurs d'onde qui lui est propre. Ce fait sous-tend une quantité surprenante de science moderne : c'est ainsi que la composition des étoiles est déterminée sans quitter la Terre, que l'hélium a été découvert dans le spectre du Soleil des décennies avant d'être trouvé sur notre propre planète, et que la contamination métallique est mesurée aujourd'hui dans l'eau potable et les effluents industriels.

Le test à la flamme est l'application la plus ancienne et la plus simple de ce principe. Chauffer un sel métallique dans la flamme d'un brûleur fournit de l'énergie aux électrons les plus externes du métal, les faisant passer dans des orbitales de plus haute énergie. L'état excité est instable et, en quelques nanosecondes, l'électron retombe, libérant la différence d'énergie sous forme de photon unique. Parce que les niveaux d'énergie autorisés d'un atome sont fixes et caractéristiques, l'énergie du photon — et par conséquent la couleur de la lumière — est la signature de l'élément qui l'a produit.

Dans ce laboratoire, vous chaufferez tour à tour quatre substances non identifiées et identifierez chacune d'elles grâce à la couleur qu'elle communique à la flamme. Le test est rapide, ne nécessite presque aucun équipement et, pour une poignée de métaux, il est tout à fait concluant. Vous en découvrirez également les limites, qui sont aussi instructives que ses réussites.

### OBJECTIFS

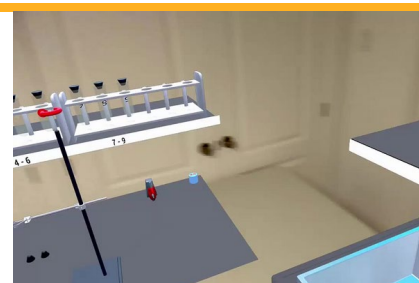
- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection et manipulation sécuritaire d'une flamme nue
- Exécution correcte d'un test de flamme
- Interpréter la couleur d'une émission comme un indice
- Lien entre la couleur et la structure atomique
- Reconnaître les limites d'une méthode qualitative

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/identification-delements-a-laide-de-flammes-lumineuses/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/identification-delements-a-laide-de-flammes-lumineuses/)



## 006 — Identification du gaz

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — States of matter           |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                           |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Ideal gases, gas laws                  |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 4, SEP 6 · CCC 1, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                               |
| <b>Summary</b>             | Chemical reactions and gas recognition |



### APERÇU

Identifier un gaz est l'un des plus anciens problèmes de la chimie, et c'est toujours d'actualité : les équipes travaillant dans les mines et les tunnels testent l'air avant d'entrer, les brasseurs et les vignerons surveillent le dioxyde de carbone produit par leurs fermentations, et les hôpitaux vérifient le contenu de chaque canalisation de gaz avant qu'il ne parvienne à un patient. La plupart des gaz sont incolores et inodores, l'apparence n'est donc d'aucun secours — un gaz doit être identifié par son comportement.

Trois tests classiques permettent de distinguer ensemble les gaz de laboratoire les plus courants. Une bûchette enflammée permet de déterminer si le gaz est lui-même inflammable : l'hydrogène s'enflamme avec un bruit sec, tandis que le dioxyde de carbone étouffet la flamme. Une bûchette incandescente permet de déterminer si le gaz entretient la combustion mieux que l'air : seul l'oxygène ravive la braise. Enfin, l'eau de chaux — une solution saturée d'hydroxyde de calcium — détecte spécifiquement le dioxyde de carbone en se troublant par la formation de carbonate de calcium insoluble. Aucun test pris isolément n'est concluant, mais la combinaison des trois résultats est unique pour chaque gaz.

Dans ce laboratoire, vous appliquerez les trois tests à trois gaz inconnus, fournis chacun dans trois tubes à essai bouchés, vous enregistrerez le résultat de chaque essai et vous déduirez l'identité de chaque gaz à partir de l'ensemble des preuves.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation sûre des gaz et des flammes nues
- Exécution correcte des trois tests de gaz classiques
- Observation systématique et déduction
- Relier les observations aux propriétés chimiques

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/identification-de-gaz/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/identification-de-gaz/)

## 007 — Séparation des produits solides et liquides

|                            |                                              |
|----------------------------|----------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — States & Properties of Matter    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                 |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.1 – Particulate nature of matter |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 3 · CCC 6                     |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                     |
| <b>Summary</b>             | Filtration and separation techniques         |



### APERÇU

Séparer un solide d'un liquide est l'une des opérations les plus courantes de toute la chimie appliquée. Les stations de traitement des eaux laissent décanter les sédiments de l'eau brute avant de filtrer ce qui reste ; les opérations minières décantent et filtrent d'énormes volumes pour récupérer des minéraux précieux ; et dans l'industrie pharmaceutique, presque chaque synthèse se termine par un précipité qui doit être proprement séparé de la solution qui l'a produit. Les deux techniques utilisées partout pour cette tâche sont celles de ce laboratoire : la décantation et la filtration.

Toutes deux exploitent les différences physiques entre les phases d'un mélange hétérogène, de sorte qu'aucune ne modifie l'identité chimique de quoi que ce soit. La décantation utilise la densité : un solide en suspension plus dense que le liquide se dépose sous l'effet de la gravité et, une fois qu'il s'est accumulé au fond, le liquide situé au-dessus — le surnageant — peut simplement être versé. La filtration utilise la taille des particules : les molécules de liquide passent librement à travers les pores microscopiques d'un filtre en papier, tandis que les particules solides, énormément plus grandes, sont retenues.

Dans ce laboratoire, vous séparerez un mélange d'hydroxyde de cobalt (II) et d'eau en deux étapes — d'abord en décantant le mélange sédimenté, puis en filtrant le dépôt restant — et vous constaterez par vous-même pourquoi les deux méthodes sont utilisées en séquence plutôt que seules.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation minutieuse de liquides et de suspensions
- Maîtrise du vocabulaire de la séparation
- Comprendre le principe derrière chaque technique
- Méthodes de séparation par séquençage

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-des-produits-solides-et-liquides/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-des-produits-solides-et-liquides/)

## 008 — Séparation des produits par point d'ébullition 1

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy                         |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.3–1.5 – Electron configurations, gases |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 3, SEP 5 · CCC 5, CCC 7             |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                                           |
| <b>Summary</b>             | Distillation and phase change observation          |



### APERÇU

La distillation est la technique de séparation incontournable du monde chimique. Les raffineries l'utilisent à une échelle colossale pour fractionner le pétrole brut en carburants, les usines de dessalement l'utilisent pour obtenir de l'eau douce à partir de la mer, et les distillateurs de toutes traditions l'utilisent depuis des siècles pour concentrer l'alcool. Partout où deux composants d'un mélange liquide diffèrent par leur facilité de vaporisation, la distillation peut les séparer.

Le principe repose sur une différence de points d'ébullition. Lorsqu'on chauffe une solution d'un solide non volatil, seul le solvant bout : ses molécules s'échappent sous forme de vapeur tandis que le solide dissous, dont le propre point d'ébullition se situe des centaines de degrés plus haut, reste en arrière. Évacuée et refroidie, la vapeur se condense à nouveau en liquide — désormais débarrassé du soluté qu'elle a laissé dans le ballon. Le chauffage entraîne le changement d'état du liquide au gaz ; le refroidissement inverse le processus ; et le soluté, incapable d'accomplir l'un ou l'autre de ces trajets, est séparé de son solvant.

Dans ce laboratoire, vous séparerez une solution de sulfate de cuivre en ses deux constituants : l'eau sera évaporée, condensée dans un tube à essai refroidi par un bain de glace et récupérée sous forme de distillat, tandis que le sulfate de cuivre restera dans le flacon Erlenmeyer sous forme de résidu solide. Vous monterez vous-même l'appareil complet, contrôlerez le chauffage et observerez les deux moitiés de la séparation se produire simultanément.

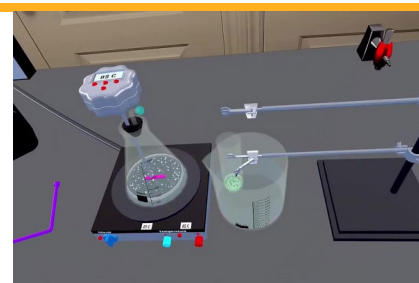
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Montage d'un appareil de distillation
- Chauffage contrôlé d'une solution
- Maîtrise du vocabulaire de la distillation
- Comprendre les principes physiques de la séparation

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-de-produits-par-point-debullition-1/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-de-produits-par-point-debullition-1/)

## 009 — Séparation des produits par point d'ébullition 2

|                            |                                               |
|----------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy and Systems                |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                  |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases                   |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 3, SEP 5 · CCC 5               |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                                      |
| <b>Summary</b>             | Two-stage distillation of an ethanol solution |



### APERÇU

Lorsque les deux composants d'un mélange sont tous deux des liquides, la séparation devient un problème plus subtil que l'extraction d'un solide de l'eau — et infiniment plus important. L'industrie pétrochimique en dépend, les distillateurs de spiritueux la pratiquent depuis un millénaire, et la chimie pharmaceutique et des parfums s'y fient quotidiennement. Cette technique, c'est la distillation : elle consiste à exploiter le fait que différents liquides bouillent à des températures différentes.

L'éthanol bout à 78,37 °C, l'eau à 100 °C. Chauffez un mélange des deux et la vapeur qui s'élève est plus riche en éthanol que le liquide dont elle provient, car à n'importe quelle température, le composant le plus volatil s'échappe du liquide plus facilement. Capturez et condensez cette vapeur et vous obtenez une fraction enrichie en éthanol ; continuez à chauffer, et une fois que l'éthanol a largement disparu, la température grimpe jusqu'à ce que l'eau distille à son tour. Un thermomètre suit toute l'histoire — les paliers dans la courbe de température marquent les changements de phase, et la hausse entre eux signale le passage d'un composant à l'autre.

Dans ce laboratoire, vous allez séparer une solution d'éthanol-eau à 25% v/v — soit la concentration d'un bain de bouche classique — par une distillation simple en deux étapes, en recueillant une première fraction riche en éthanol dans un tube à essai à 85 °C et l'eau restante dans un second à 105 °C. Notez que, sans colonne de fractionnement, la première fraction est enrichie en éthanol plutôt que constituée d'éthanol pur ; la température augmente donc progressivement à mesure que le mélange éthanol-eau s'épuise, au lieu de se stabiliser à 78 °C — une limitation que vous observerez directement sur la courbe de température.

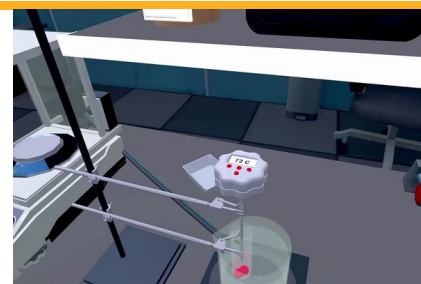
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Montage et reconfiguration d'un appareil de distillation
- Chauffage à deux étages régulé
- Lecture d'une courbe température-temps
- Comprendre la volatilité et les mélanges

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-des-produits-par-point-debullition-2/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/separation-des-produits-par-point-debullition-2/)

## 010 — Point de fusion et densité

|                            |                                                         |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — States of Matter                            |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                            |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 2.1–2.4 – Bonding and structure               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1, CCC 6                  |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                                                |
| <b>Summary</b>             | Material identification using melting point and density |



### APERÇU

Comment distinguer une substance d'une autre lorsque toutes deux sont des solides blancs et inodores ? Pas par l'apparence, mais par la mesure. Chaque substance pure possède un ensemble de propriétés physiques qui ne dépendent pas de la quantité dont on dispose : sa masse volumique, son point de fusion, son point d'ébullition. On les appelle des propriétés intrinsèques, et elles fonctionnent comme une empreinte digitale. Les laboratoires de contrôle qualité vérifient ainsi les matières premières, les experts médico-légaux identifient ainsi des échantillons inconnus, et les géologues classent ainsi les minéraux.

La masse volumique est le rapport de la masse d'un échantillon à son volume — c'est la quantité de matière contenue dans chaque millilitre. Le point de fusion est la température à laquelle la structure ordonnée du solide s'effondre en liquide, et elle reste constante pendant la fusion : la chaleur entrante est consommée pour briser la structure et non pour élever la température, ce qui explique pourquoi une substance en fusion présente un palier sur un graphique température-temps.

Dans ce laboratoire, vous mesurerez ces deux propriétés pour la cire de paraffin. D'abord, vous peserez un échantillon et déterminerez son volume par déplacement d'eau, ce qui donnera sa masse volumique ; ensuite, vous ferez fondre un échantillon pesé dans un bain-marie, en suivant la température sur le graphique de la tablette pour saisir le palier de fusion. Ensemble, ces deux chiffres caractérisent le matériau.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation correcte de la balance électronique
- Mesurer le volume d'un solide irrégulier
- Détermination d'une masse volumique
- Mesure du point de fusion
- Comprendre les propriétés intensives

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/point-de-fusion-et-densite/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/point-de-fusion-et-densite/)

# 011 — Densité

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Measurement, Change           |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.1 – Matter properties         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 4, SEP 5 · CCC 3           |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                                  |
| <b>Summary</b>             | Determining the density of an unknown gas |



## APERÇU

Les gaz ont une masse volumique, tout comme les solides et les liquides — mais si faible que sa mesure demande de l'ingéniosité. La réponse a plus d'importance qu'il n'y paraît : le propane qui fuit d'un réservoir ne s'échappe pas mais s'accumule de manière invisible au niveau du sol, précisément parce qu'il est plus dense que l'air ; l'hélium fait monter un ballon parce qu'il est plus léger ; et la masse volumique d'un gaz est souvent l'indice le plus rapide de son identité, car à une température et une pression données, elle est fixée par la masse des molécules du gaz.

La difficulté est pratique : 100 mL d'un gaz typique pèsent un cinquième de gramme, bien trop peu pour être placés seuls sur une balance. La solution classique est la pesée par différence. Pesez un récipient scellé vide — réellement vide, c'est-à-dire sous vide —, puis pesez-le à nouveau rempli de gaz ; la différence est la masse du gaz seul, et la division par le volume donne la masse volumique. Les deux pesées étant effectuées avec la seringue au même réglage, tout le reste de l'appareil s'annule lors de la soustraction.

Dans ce laboratoire, vous mesurerez la masse volumique d'un gaz inconnu : d'abord en pesant un ensemble seringue contenant un vide de 100 mL, puis en le remplissant de 100 mL du gaz provenant de sa bouteille et en le pesant à nouveau. À partir de la différence de 0,18 g, vous calculerez la masse volumique — et à partir de celle-ci, vous déduirez la nature du gaz.

## OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipuler un gaz quantitativement
- Pesage de précision et méthode des différences
- Calcul et interprétation de la densité d'un gaz
- De la densité à l'identité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-densite/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-densite/)

## 012 — Propriétés physiques et identification des produits

|                            |                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Properties of Matter                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 2.4 – From models to materials            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 4, SEP 6 · CCC 1, CCC 6              |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1; MS-PS1-2                                  |
| <b>Summary</b>             | Identifying unknowns from boiling point and density |



### APERÇU

Il n'y a pas deux substances pures qui partagent le même ensemble de propriétés physiques. Chacune possède son propre point d'ébullition et sa propre densité, et ces constantes sont répertoriées dans des tables de référence que les chimistes consultent chaque jour. C'est pourquoi une bouteille non étiquetée n'est jamais identifiée au pifomètre : mesurer une ou deux propriétés physiques bien choisies et comparer les résultats aux valeurs connues suffit généralement à nommer une substance. La même approche est utilisée dans le contrôle de la qualité, dans les laboratoires médico-légaux et lors de la vérification de la pureté des produits chimiques manufacturés.

Deux propriétés caractérisent ce laboratoire. Le point d'ébullition est la température à laquelle la pression de vapeur d'un liquide est égale à la pression atmosphérique environnante ; pendant qu'un liquide bout, sa température cesse d'augmenter, car la chaleur fournie est consommée par le changement d'état plutôt que par le réchauffement du liquide. La masse volumique est le rapport de la masse au volume,  $\rho = m/V$ . C'est une propriété intensive — un grand fragment et un petit donnent la même valeur — et pour un solide irrégulier, le volume est le plus facilement mesuré par déplacement d'eau, idée attribuée à Archimède.

Dans ce laboratoire, vous identifierez quatre substances inconnues. Deux liquides inconnus sont chauffés sur des plaques chauffantes réglées à 105 °C tandis que des thermomètres enregistrent leur température : le palier que chaque liquide atteint correspond à son point d'ébullition, et son nom en découle. Deux solides inconnus sont ensuite pesés sur la balance électronique et immergés dans un vase d'aussière plein, l'eau déplacée étant recueillie dans une éprouvette graduée ; la masse et le volume réunis donnent la masse volumique, et la masse volumique donne l'identité.

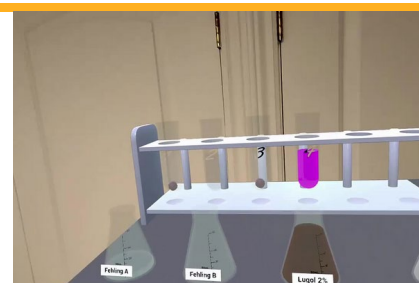
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection et conduite de sécurité en laboratoire
- Mesure du volume et de la masse
- Détermination d'un point d'ébullition
- Détermination de la masse volumique par déplacement d'eau
- Identification des substances à partir des propriétés physiques

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/proprietes-physiques-et-identification-du-produit/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/proprietes-physiques-et-identification-du-produit/)

# 013 — Nutriments

|                            |                                          |
|----------------------------|------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Organisms, metabolism          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                               |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Macronutrients, enzymes                  |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-6 · SEP 4, SEP 6 · CCC 5, CCC 6   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-7                                 |
| <b>Summary</b>             | Food chemistry and biochemical reactions |



## APERÇU

Chaque aliment est un mélange de molécules biologiques, et quatre familles dominant : les sucres simples, les amidons, les lipides et les protéines. Savoir lesquelles de ces molécules un aliment contient est à la base de l'étiquetage nutritionnel, des conseils diététiques et du contrôle de la qualité dans l'industrie agroalimentaire — et bien avant que les instruments n'existent, les chimistes ont établi la réponse grâce à une poignée de réactions colorées qui sont encore enseignées, et toujours utilisées comme tests de dépistage rapide, aujourd'hui.

Chaque test fonctionne parce qu'un réactif réagit avec une caractéristique chimique spécifique et produit un changement visible. La solution de Fehling est réduite par le groupe aldéhyde libre d'un sucre réducteur, et le cuivre(II) qu'elle contient est converti en oxyde de cuivre(I) rouge brique. L'iode de Lugol se glisse dans la spire hélicoïdale d'une molécule d'amidon et forme un complexe iode-amidon intensément coloré. Le Soudan IV est un colorant liposoluble qui quitte l'eau et se dissout dans toute gouttelette lipidique présente, la colorant en rouge. Le réactif de Biuret, du cuivre(II) en solution alcaline, forme un complexe violet avec les liaisons peptidiques qui unissent les acides aminés dans une protéine. Aucun de ces tests n'est sensible à autre chose, ce qui rend l'ensemble informatif.

Dans ce laboratoire, vous analyserez quatre aliments de tous les jours — du jus de pomme, du blanc d'œuf, une solution de céréales et du lait — pour identifier les quatre familles de nutriments. Chaque aliment est réparti dans un tube à essai, pour le test de Fehling à chaud, et dans trois puits d'une microplaque, un pour chacun des tests à froid. Vous chaufferez les tubes de Fehling dans un bain-marie au-dessus de 70 °C, ajouterez chaque réactif dans son puits étiqueté, et consignerez les seize observations obtenues dans un tableau de résultats. À partir de ces couleurs, vous établirez un profil nutritionnel pour chaque aliment et le comparerez à ce que vous savez déjà sur l'origine des sucres, de l'amidon, des graisses et des protéines.

## OBJECTIFS

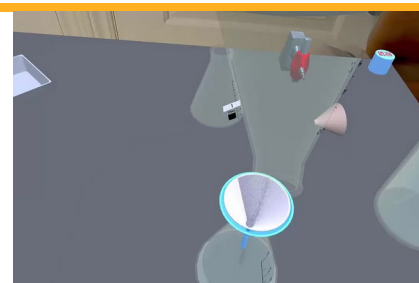
- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection et manipulation sûre des réactifs
- Préparation et division des échantillons
- Éviter la contamination croisée
- Réalisation des quatre tests de nutriments
- Lecture et enregistrement des résultats
- Interprétation chimique des réactions colorées

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/nutriments/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/nutriments/)



## 014 — Extraction des métaux lourds

|                            |                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Sustainability, human impact   |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                               |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Precipitation, solubility                  |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2; HS-ESS3-4 · SEP 3, SEP 6 · CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                   |
| <b>Summary</b>             | Pollution and chemical remediation         |



### APERÇU

Le plomb et le cuivre parviennent aux eaux usées par la corrosion des canalisations, par les bains usés de placage et de décapage, ainsi que par l'élimination négligente de peintures et de solvants. Aucun des deux éléments n'est détruit par la dilution ou par le traitement biologique, et tous deux sont toxiques à faible concentration — c'est pourquoi les stations d'épuration municipales et industrielles éliminent chimiquement les métaux dissous avant le rejet de l'eau. La méthode standard est celle utilisée ici : ajouter un contre-ion qui forme un sel insoluble avec le métal, puis filtrer le solide.

La chimie repose sur la solubilité. Un sel précipite lorsque le produit de ses concentrations ioniques dépasse son produit de solubilité  $K_{sp}$ ; en dessous de cette valeur, il reste dissous. Le sulfate de plomb et le carbonate de cuivre sont tous deux très peu solubles, de sorte que l'ajout de sulfate élimine le plomb sous forme de  $PbSO_4$  et l'ajout de carbonate élimine le cuivre sous forme de  $CuCO_3$ . L'ordre n'est pas arbitraire. Le carbonate précipiterait le plomb aussi bien que le cuivre, donc si le carbonate était ajouté en premier, les deux métaux sortiraient ensemble et ne pourraient pas être séparés. Le sulfate, en revanche, laisse le cuivre en solution — le sulfate de cuivre est librement soluble — donc le sulfate en premier, le carbonate en second, donne deux fractions propres.

Dans ce laboratoire, vous traiterez un échantillon d'eau usée de 100 mL contenant les deux métaux. Vous pèserez un papier filtre, ajouterez du sulfate de sodium à l'échantillon et observerez la formation de sulfate de plomb blanc, le filtrerez et pèserez à nouveau le papier pour obtenir la masse du précipité. Vous ajouterez ensuite du carbonate de potassium au filtrat, précipiterez le cuivre sous forme de carbonate de cuivre bleu-vert, filtrerez et pèserez à nouveau. À partir des deux masses, vous calculerez la quantité de plomb et de cuivre que contenait l'échantillon d'origine, et évalueriez l'efficacité de l'élimination de chacun d'eux.

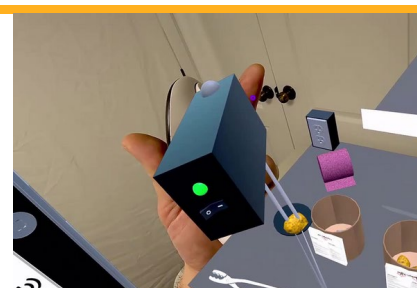
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection et manipulation sécuritaire des métaux lourds
- Précipitation sélective
- Technique de filtration gravimétrique
- Traitement quantitatif des résultats
- Évaluation de l'efficacité d'un traitement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/014-extraction-de-metaux-lourds/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/014-extraction-de-metaux-lourds/)

## 015 — Propriétés des métaux

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Transformation & Energy              |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                     |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.1 – Redox & metal activity          |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-1; HS-PS1-2 · SEP 4, SEP 6 · CCC 1, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                         |
| <b>Summary</b>             | Comparing metal reactivity and properties        |



### APERÇU

Le tableau périodique est, avant toute chose, un résumé du comportement. Les éléments sont placés là où ils sont en raison de la manière dont ils conduisent, dont ils se déforment et de ce avec quoi ils réagissent, et ce sont ces mêmes propriétés qui indiquent à un ingénieur si un matériau a sa place dans un fil électrique, un dissipateur thermique, une poutre structurelle ou une batterie. Distinguer un métal d'un non-métal et d'un métalloïde est la première classification qu'un chimiste apprend, et elle se fait non pas en cherchant une réponse, mais par l'expérimentation.

Quatre propriétés physiques et deux propriétés chimiques séparent ces classes. Les métaux conduisent l'électricité parce que leurs électrons externes sont délocalisés et libres de se déplacer à travers le réseau ; ces mêmes électrons mobiles transportent la chaleur, confèrent à la surface son éclat réfléchissant et permettent aux plans du réseau de glisser les uns sur les autres sans se rompre, ce qui constitue la malléabilité. Les non-métaux retiennent leurs électrons dans des liaisons covalentes localisées et n'accomplissent rien de tout cela. Les métalloïdes se situent entre les deux : le réseau covalent du silicium transmet parfaitement la chaleur sous forme de vibrations mais ne libère pour ainsi dire aucun porteur de charge, ce qui en fait précisément un semi-conducteur. Sur le plan chimique, un métal situé au-dessus de l'hydrogène dans l'échelle d'activité le déplace des acides, et les métaux les plus réactifs — les familles des métaux alcalins et alcalino-terreux situés à gauche du tableau — le font de l'eau seule, laissant derrière eux un hydroxyde et par conséquent une solution fortement basique.

Dans ce laboratoire, vous testerez dix éléments. Cinq — le zinc, le soufre, le silicium, le fer et le plomb — sont examinés pour leur conductivité électrique et thermique, leur éclat, leur malléabilité et leur réaction avec l'acide chlorhydrique 1 M, puis classés d'après les résultats. Cinq autres — le lithium, le sodium, le potassium, le magnésium et le calcium — sont placés dans de l'eau distillée, observés pour leur effervescence et testés avec du papier tournesol rouge et bleu afin d'établir si une base s'est formée. Le tableau de résultats complété est une petite version expérimentale du bloc de gauche du tableau périodique.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection et manipulation sûre des métaux réactifs
- Test des propriétés physiques
- Test des propriétés chimiques
- Classification d'éléments à partir de preuves
- Relier le comportement aux tendances périodiques
- Saisie et interprétation d'une matrice de résultats

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/proprietes-des-metaux/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/proprietes-des-metaux/)

# 016 — La loi de conservation de la masse

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Chemical reactions  |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                    |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Stoichiometry, enthalpy         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-7 · SEP 5, SEP 6 · CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-5                        |
| <b>Summary</b>             | Mass balance experiments        |



## APERÇU

La loi de conservation de la masse énonce que la matière n'est ni créée ni détruite lors d'une réaction chimique : les atomes présents avant la réaction sont exactement les atomes présents après, simplement réagencés en molécules différentes. Antoine Laurent de Lavoisier a établi ce principe dans les années 1780 en pesant des récipients de réaction scellés, et c'est la raison pour laquelle toute équation chimique doit être équilibrée et la raison pour laquelle un chimiste industriel peut prédire la masse de produit qu'un procédé générera avant de l'exécuter.

Démontrer la loi est plus difficile qu'il n'y paraît, car une réaction qui libère un gaz semble perdre de la masse lorsqu'elle est effectuée dans un récipient ouvert. La masse n'a pas disparu, elle a simplement quitté le plateau de la balance. La conservation ne peut donc être démontrée que dans un fermé système, un dans lequel chaque produit, gaz compris, est retenu et pesé avec le reste. Cette seule exigence expérimentale est l'idée centrale de ce laboratoire.

Vous testerez la loi deux fois, en utilisant deux réactions qui se comportent très différemment. Dans la partie A, le bicarbonate de sodium réagit avec l'acide acétique et libère du dioxyde de carbone ; le gaz est capturé dans un ballon en caoutchouc fixé sur le col d'un erlenmeyer, et une pince sur le col du ballon permet de peser le gaz piégé de manière isolée une fois la réaction terminée. Dans la partie B, des solutions de chlorure de calcium et de carbonate de sodium sont mélangées et un précipité solide de carbonate de calcium se forme ; rien ne peut quitter le b", "beaker", "le bécher", "le bécher, donc le bilan massique se ferme exactement. Dans chaque cas, vous pesez le système avant et après la réaction, vous comparez les totaux et vous expliquez toute différence que vous trouvez.

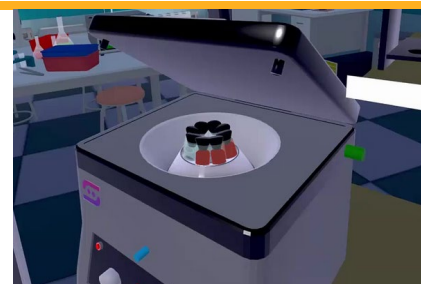
## OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection
- Construction et test d'un système fermé
- Technique de pesée quantitative
- Stœchiométrie et réactif limitant
- Interprétation d'un bilan massique

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/016-la-loi-de-conservation-de-la-masse/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/016-la-loi-de-conservation-de-la-masse/)

## 021 — Centrifugation

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Human systems     |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                  |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Integration of body systems |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-2 · SEP 3 · CCC 6    |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-2                    |
| <b>Summary</b>             | Blood composition analysis  |



### APERÇU

La centrifugation est une méthode qui utilise un mouvement de rotation rapide pour séparer les composants d'un mélange en fonction de leurs différences de densité. Dans les laboratoires cliniques, cette technique est essentielle pour l'analyse d'échantillons biologiques tels que le sang, l'urine et les suspensions cellulaires.

En accélérant la sédimentation, la centrifugation permet aux composants qui mettraient normalement des heures ou des jours à se séparer sous l'action de la gravité de le faire en quelques minutes.

Le sang est un mélange hétérogène composé de plusieurs éléments, notamment des globules rouges, des globules blancs, des plaquettes, du plasma et des substances dissoutes telles que les protéines et les lipides. Lorsqu'ils sont centrifugés dans des conditions contrôlées, ces composants se séparent en couches distinctes qui peuvent être observées et analysées. Les variations d'apparence ou de proportions relatives de ces couches fournissent des informations diagnostiques précieuses.

Dans ce laboratoire, vous centrifugerez une série d'échantillons sanguins, dont deux proviennent de patients présentant des conditions pathologiques : l'anémie, caractérisée par une concentration réduite de globules rouges, et la lipémie, caractérisée par un excès de lipides dans le plasma. Grâce à une observation et une interprétation attentives, vous identifierez ces échantillons et mettrez en relation vos découvertes avec des applications cliniques réelles. Tout au long de cette activité, un accent particulier est mis sur la sécurité en laboratoire, la manipulation correcte du matériel, l'équilibrage adéquat de la centrifugeuse et la gestion responsable des déchets – des compétences essentielles dans la pratique professionnelle de laboratoire.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection
- Fonctionnement de l'équipement de centrifugation
- Préparation et équilibrage de l'échantillon
- Observation de phases séparées
- Interprétation clinique des résultats

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/021-centrifugation/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/021-centrifugation/)

## 023 — Sang et groupes sanguins

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Human systems                |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Integration of body systems            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-2 · SEP 4, SEP 6 · CCC 4, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-3                               |
| <b>Summary</b>             | Immunity and blood typing exploration  |



### APERÇU

La détermination du groupe sanguin est l'un des tests de routine les plus anciens et les plus lourds de conséquences en médecine. Karl Landsteiner a identifié les groupes ABO en 1901 après avoir remarqué que le sang de certaines personnes s'agglutinait lorsqu'il était mélangé à celui d'autres, et le facteur Rhésus a été décrit quatre décennies plus tard. Ensemble, ces deux systèmes déterminent si une transfusion sauve une vie ou détruit les globules rouges du receveur en quelques minutes, et ils sont vérifiés avant chaque transfusion, lors de chaque grossesse, ainsi que dans le cadre d'enquêtes médico-légales et de tests de paternité.

Le test repose sur une seule idée moléculaire. La surface d'un globule rouge porte des marqueurs héréditaires de sucre et de protéine appelés antigènes : l'antigène A, l'antigène B, les deux ou aucun, et séparément l'antigène Rh (D). Un sérum contenant des anticorps contre l'un de ces marqueurs — un agglutinine — possède deux sites de liaison ou plus, de sorte que lorsqu'il rencontre des cellules portant son antigène cible, il les relie entre elles pour former des amas visibles. C'est l'agglutination : la goutte perd son aspect rouge lisse et régulier et devient granuleuse, avec des taches plus sombres dans un liquide clair. Lorsque l'antigène est absent, l'anticorps n'a rien à fixer et la goutte reste uniforme. Le test se lit donc comme un simple oui ou non, répété trois fois.

Dans ce laboratoire, vous allez déterminer le groupe sanguin de huit échantillons inconnus. Chaque échantillon est placé dans trois puits séparés et testé successivement avec du sérum anti-A, anti-B et anti-Rh, en mélangeant chaque puits avec un bâtonnet de verre qui est rincé et séché entre les puits afin qu'aucun sérum ne soit transféré d'un test à l'autre. À partir de la configuration des trois réponses par oui ou par non, vous déduirez le groupe ABO et le statut Rh de chaque échantillon, puis vous déterminerez lesquels d'entre eux pourraient faire un don en toute sécurité à quels autres.

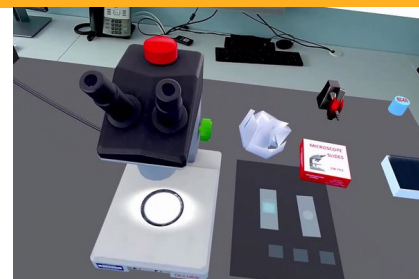
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipuler des échantillons biologiques en toute sécurité
- Éviter la contamination croisée
- Lecture d'une réaction d'agglutination
- Détermination du groupe ABO et du statut Rh
- Raisonnement sur la compatibilité transfusionnelle

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/sang-et-groupes-sanguins/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/sang-et-groupes-sanguins/)

## 024 — Observation des cellules animales

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Cells                        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Cell structure                         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-2 · SEP 2, SEP 6 · CCC 4, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-1; MS-LS1-2                     |
| <b>Summary</b>             | Microscopy of animal cells             |



### APERÇU

Le microscope optique composé est l'instrument qui a rendu la biologie cellulaire possible, et les cellules qui tapissent l'intérieur de la joue humaine constituent le premier spécimen classique. L'épithélium buccal est un tissu malpighien stratifié : ses cellules les plus externes se détachent continuellement, de sorte qu'un échantillon peut être prélevé sans rien couper, colorer ou couper en sections. Les cytologues utilisent encore exactement ce matériel pour le dépistage du cancer bucco-dentaire et pour les frottis buccaux dans les tests génétiques, ce qui en fait un véritable spécimen diagnostique plutôt qu'une simple commodité pédagogique.

Les cellules animales vivantes sont presque invisibles dans un microscope optique pour une raison physique simple : elles sont composées principalement d'eau et leur indice de réfraction est à peine différent de celui de l'eau dans laquelle elles baignent, de sorte qu'elles absorbent et dévient très peu la lumière transmise. Ce qu'un microscopiste voit dans ces conditions est un contour flou et guère plus. Une coloration résout le problème en se fixant sélectivement sur certaines structures et non sur d'autres, convertissant une différence de chimie en une différence de couleur que l'œil peut lire. La solution de Lugol — de l'iode dissous dans de l'iodure de potassium — est le choix standard pour cette préparation : elle teinte le cytoplasme en jaune-brun pâle et fait ressortir le noyau comme un corps nettement plus sombre, et ce, instantanément et sans chauffage.

Dans ce laboratoire, vous préparerez le même spécimen deux fois et comparerez les deux. La première lame est une préparation humide simple dans l'eau ; la deuxième reçoit une goutte de solution de Lugol avant la pose de la lamelle. Vous allumerez l'éclairage transmis, commencerez au plus faible grossissement et progresserez à travers 40×, 100× et 400×, en faisant la mise au point avec la vis macrométrique uniquement à faible puissance et la vis micrométrique par la suite, et enregistrerez une image à chaque étape. La comparaison entre les deux lames est l'objet de l'exercice : elle montre ce que fait une coloration et pourquoi presque aucune microscopie de tissu animal n'est réalisée sans elle.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Fonctionnement d'un microscope optique composé
- Préparation d'une préparation humide
- Utilisation d'un colorant biologique
- Observation et enregistrement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-cellules-animales/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-cellules-animales/)

## 025 — Observation de cellules végétales

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Cells                        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Cell structure                         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-2 · SEP 2, SEP 6 · CCC 4, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-1; MS-LS1-2                     |
| <b>Summary</b>             | Microscopy of plant cells              |



### APERÇU

Les cellules végétales ont été les premières cellules jamais observées par quiconque. En 1665, Robert Hooke a placé un morceau de liège sous un microscope, a constaté qu'il était divisé en de minuscules compartiments, et a emprunté le mot cellule depuis les petites pièces d'un monastère. Ce qui a rendu le liège lisible là où le tissu animal ne l'était pas est exactement ce qui fait aujourd'hui du matériel végétal un meilleur spécimen pédagogique : une paroi cellulosique rigide autour de chaque cellule trace une frontière visible, que la cellule soit colorée ou non.

Élodée, la plante aquatique, est le choix standard. Sa feuille ne fait que deux épaisseurs de cellules, de sorte qu'une feuille entière peut être montée à plat sans coupe et que la lumière la traverse directement. À l'intérieur de chaque cellule se trouvent des dizaines de chloroplastes, denses en chlorophylle et donc assez verts pour être vus sans aucune coloration, tandis qu'une seule grande vacuole centrale occupe la majeure partie du volume et presse le cytoplasme et les chloroplastes en une fine couche contre la paroi. Presque toutes les caractéristiques distinctives d'une cellule végétale — paroi, chloroplastes, vacuole, géométrie tissulaire ordonnée — sont visibles dans une seule préparation.

Le noyau constitue l'exception. Il est présent dans chaque cellule mais se révèle presque transparent et se confond facilement parmi les chloroplastes, raison pour laquelle le laboratoire utilise deux lames plutôt qu'une. La première est une préparation simple dans l'eau, montrant les cellules telles qu'elles sont. La seconde reçoit une goutte de solution de Lugol — de l'iode dans de l'iodure de potassium — qui se lie aux protéines et aux acides nucléiques et teinte le noyau d'un jaune-brun distinct. Vous allumerez l'illuminateur à fond clair, progresserez à travers les grossissements 40×, 100× et 400× en n'utilisant la vis macrométrique qu'à la plus faible puissance, enregistrerez une image à chaque étape et comparerez directement les deux lames. Lu parallèlement au laboratoire 024 sur les cellules animales, ce duo rend la différence structurelle entre les deux règnes visible plutôt qu'affirmée.

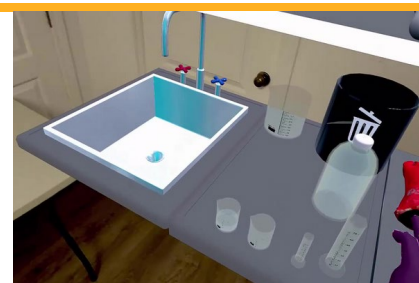
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Fonctionnement d'un microscope optique composé
- Préparation d'une préparation humide
- Identification des structures cellulaires végétales
- Utilisation d'un colorant biologique
- Observation et enregistrement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-cellules-vegetales/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-cellules-vegetales/)

## 026 — ADN végétal

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Genetics              |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | DNA replication, inheritance    |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS3-1 · SEP 1, SEP 3 · CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS3-1                        |
| <b>Summary</b>             | DNA extraction visualization    |



### APERÇU

L'extraction de l'ADN est la première étape de presque toutes les procédures en biologie moléculaire : le séquençage d'un génome, le test d'une variété de culture pour un gène de résistance aux maladies, la comparaison d'un échantillon médico-légal ou la confirmation d'un diagnostic clinique commencent tous par extraire l'ADN des cellules pour le placer dans un tube. La chimie est la même à toutes les échelles. Une cellule retient son contenu derrière des membranes constituées de phospholipides, et l'ADN qu'elle contient est un très long polyanion — chaque groupe phosphate le long de son squelette porte une charge négative à pH neutre. Un détergent dissout les membranes et libère le contenu de la cellule ; du sel dissous fournit des sodium ions qui masquent ces charges négatives, de sorte que les brins voisins cessent de se repousser mutuellement ; et un alcool froid, dans lequel l'ADN est beaucoup moins soluble que dans l'eau, fait ensuite sortir les molécules masquées de la solution sous la forme d'une masse suffisamment grande pour être visible à l'œil nu. La banane est un matériau de départ pratique : la chair est suffisamment tendre pour être réduite en pâte avec un pilon, elle contient peu de fibres, et la banane cultivée est triploïde, de sorte que chaque cellule transporte trois jeux de chromosomes. Dans ce laboratoire, vous préparerez une solution d'extraction à partir d'eau distillée, de chlorure de sodium et de liquide vaisselle, vous écraserez un morceau de banane pour obtenir une pâte homogène, vous mélangerez la pâte avec cette solution, vous filtrerez le mélange à travers du papier dans un tube à essai, et vous déposerez de l'alcool méthylique froid en couche au-dessus du filtrat. En quelques instants, un précipité gris et filamenteux apparaît là où les deux liquides se rencontrent — de l'ADN, ainsi qu'une partie du reste du matériel libéré par les cellules.

### OBJECTIFS

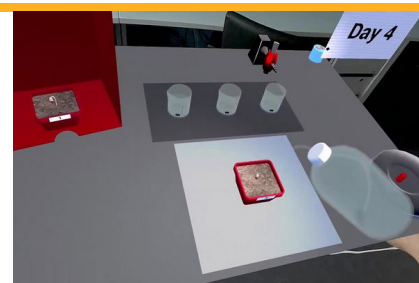
- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation d'un réactif toxique
- Préparation d'une solution aqueuse
- Perturbation mécanique des tissus végétaux
- Filtration par gravité
- Précipitation par l'alcool
- Observation et interprétation du résultat

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/adn-vegetal/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/adn-vegetal/)



## 027 — Germination

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Cycles and reproduction      |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reproduction, adaptation               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-5 · SEP 3, SEP 4 · CCC 5, CCC 7 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-5                               |
| <b>Summary</b>             | Seed growth and plant development      |



### APERÇU

La germination est le moment où une graine sèche et dormante devient une plante vivante. L'eau absorbée par imbibition réactive le métabolisme de la graine, les enzymes décomposent l'amidon et les protéines stockés dans les cotylédons, la radicule émerge et ancrant la jeune pousse, et la tige pousse vers la surface. Rien de tout cela ne nécessite de lumière : une graine germe parfaitement bien dans l'obscurité, grâce aux réserves qu'elle contient. Ce qui nécessite de la lumière, c'est l'étape suivante. La chlorophylle ne peut pas se synthétiser dans l'obscurité, de sorte qu'une jeune pousse qui atteint l'air sans lumière reste pâle, garde sa tige courbée en un crochet protecteur et n'ouvre jamais ses feuilles ; elle vit sur ses réserves jusqu'à ce qu'elles soient épuisées. En présence de lumière, le crochet se redresse, les cotylédons et les premières feuilles se développent et verdissent, et la plante passe de la consommation de ses réserves à la production de son propre sucre par photosynthèse. Les semenciers, les cultivateurs et les exploitants de serres ont besoin de savoir exactement quelle quantité de lumière une jeune pousse a besoin pour effectuer cette transition, et à quelle vitesse. Dans ce laboratoire, vous ramollirez trois graines de haricot dans l'eau, vous les planterez dans trois pots numérotés identiques, puis vous placerez chaque pot dans un environnement lumineux différent : le pot 1 à l'intérieur d'une boîte à chaussures fermée, le pot 2 sur le comptoir à côté de l'évier sous un éclairage ambiant ordinaire, et le pot 3 directement sous une lampe allumée. Tous trois recevront la même terre et le même arrosage. Vous ferez ensuite avancer l'horloge de 24 heures à la fois et arroserez les plantes chaque jour pendant l'équivalent de dix jours, en photographiant les trois pots quotidiennement, de sorte que la lumière soit la seule variable qui les sépare.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Conception d'une comparaison contrôlée
- Préparation des graines et plantation
- Entretien quotidien et contrôle du temps
- Observation et tenue de registres
- Interprétation du résultat

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/germination/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/germination/)

## 028 — Analyse des selles

|                            |                                                |
|----------------------------|------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Organisms                            |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                                     |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Metabolism and digestion                       |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-7 · SEP 6, SEP 8 · CCC 5                |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-7                                       |
| <b>Summary</b>             | Stool biochemistry for suspected malabsorption |



### APERÇU

L'examen des selles est l'un des examens les moins coûteux et les plus instructifs en gastro-entérologie, car ce qui quitte le corps sous forme non digérée indique précisément où la digestion ou l'absorption a échoué. La présence de graisses dans les fèces indique un pancréas qui ne produit pas assez de lipase ou une muqueuse intestinale endommagée ; les protéines non digérées indiquent la même chose ; et les sucres qui auraient dû être dégradés et absorbés dans l'intestin grêle se retrouvent dans les selles lorsqu'une enzyme telle que la lactase fait défaut. Aucun de ces résultats ne nécessite d'équipement sophistiqué pour être détecté. Chaque classe de nutriments possède un test colorimétrique utilisé depuis bien plus d'un siècle : la solution de Fehling donne un précipité rouge brique en présence d'un sucre réducteur, l'iode vire au bleu-noir en présence d'amidon, le Sudan IV colore les gouttelettes lipidiques en rouge, et le cuivre en milieu alcalin vire au violet en présence de liaisons peptidiques. Dans ce laboratoire, vous réaliserez ces quatre tests sur deux échantillons côte à côte — l'échantillon N provenant d'une personne dont la digestion est normale, et l'échantillon P provenant d'un patient — et vous utiliserez la différence entre les deux séries de résultats pour déterminer quelles classes de nutriments le patient ne parvient pas à digérer. Trois des tests sont effectués dans les puits d'une microplaque ; le test de Fehling nécessite de la chaleur, il est donc réalisé dans des tubes à essai fixés dans un bain-marie sur une plaque chauffante.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation de matériel biologique
- Manipulation des échantillons et disposition d'un dosage
- Fonctionnement d'un bain-marie chauffant
- Utilisation des quatre tests nutritionnels qualitatifs
- Lecture, enregistrement et interprétation des résultats

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-selles/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/observation-des-selles/)

## 029 — Observation de la salive

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Enzymes                      |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Enzyme activity                        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS1-6 · SEP 3, SEP 4 · CCC 5, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS1-7                               |
| <b>Summary</b>             | Saliva microscopy with iodine staining |



### APERÇU

La salive ressemble à de l'eau, mais elle n'en est pas pour autant. Elle est composée à environ 99 % d'eau, et le 1 % restant remplit plusieurs fonctions : des électrolytes qui protègent la bouche contre l'acidité, des mucines qui rendent le liquide glissant, du lysozyme et de l'immunoglobuline A qui limitent la prolifération bactérienne, ainsi que de l' $\alpha$ -amylase, qui commence à digérer l'amidon avant même que les aliments ne soient avalés. En suspension dans ce liquide se trouve une population de particules solides : des cellules squameuses plates provenant de la muqueuse buccale, des bactéries en nombre considérable, des débris alimentaires et des filaments de mucus. En observer une goutte au microscope est l'un des moyens les plus rapides de montrer à un étudiant qu'un fluide corporel est une suspension de cellules plutôt qu'un liquide limpide, et c'est également une bonne introduction au problème central de la microscopie optique : les cellules vivantes sont transparentes, il ne suffit donc pas de les agrandir. Il faut leur apporter du contraste. Dans ce laboratoire, vous préparerez deux lames à partir du même échantillon de salive, l'une non colorée et l'autre à laquelle vous ajouterez une goutte d'iode de Lugol, puis vous les examinerez toutes les deux à l'aide des trois mêmes objectifs : 40 $\times$ , 100 $\times$  et 400 $\times$ . C'est la comparaison entre les deux lames au même grossissement, plutôt que le grossissement lui-même, qui constitue l'intérêt de cet exercice : la lame non colorée montre à quel point peu de détails sont visibles sans coloration, tandis que la lame colorée montre ce que la coloration permet de révéler.

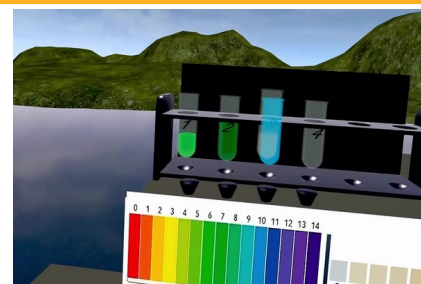
### OBJECTIFS

- Fonctionnement d'un microscope composé
- Compréhension du grossissement et de la résolution
- Préparation d'une préparation humide
- Utilisation d'un agent de contraste
- Identification des composants de l'échantillon
- Enregistrement et signalement des observations

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/029-observation-de-la-salive/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/029-observation-de-la-salive/)

## 030 — Chimie des eaux de rivière

|                            |                                                              |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Biology — Sustainability                                     |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Biology                                                   |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Ecosystems, sustainability                                   |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-LS2-7; HS-ESS3-3; HS-ESS3-4 · SEP 4, SEP 7 · CCC 2, CCC 4 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-LS2-1; MS-ESS3-3                                          |
| <b>Summary</b>             | Water quality testing                                        |



### APERÇU

La surveillance de la qualité de l'eau est l'un des travaux analytiques les plus routiniers au monde : les laboratoires municipaux, les agences environnementales et les associations de bassins versants effectuent tous la même courte série de tests sur des échantillons de rivières, de lacs et de puits, semaine après semaine. Quatre paramètres portent l'essentiel de l'information. Le pH fixe quelles espèces chimiques peuvent exister dans l'eau et comment se comportent les métaux ; le dureté rapporte la concentration totale de calcium et de magnésium dissous, qui provient de la roche que l'eau a traversée ; le nitrate et phosphate Les concentrations indiquent la quantité d'engrais, de fumier ou d'eaux usées que le bassin versant apporte, car ces deux ions sont les nutriments qui limitent la croissance des algues. Chaque paramètre est mesuré par une famille de méthodes différente : la potentiométrie et un indicateur acido-basique pour le pH, un titrage complexométrique à l'EDTA pour la dureté, et deux réactions colorées lues par comparaison avec un nuancier imprimé pour les nutriments. Dans ce laboratoire, vous prélèverez un échantillon d'eau de rivière sur la rive, puis réaliserez les quatre déterminations sur quatre fractions distinctes de 20 mL : vous lirez le pH à l'aide d'un indicateur universel et d'un pH-mètre, titrerez une portion tamponnée avec de l'EDTA à 0,010 M en utilisant le Noir d'Ériochrome T comme indicateur de fin de réaction, réduirez le nitrate pour développer le colorant azoïque de Griess, et développerez la couleur phosphomolybdique avec du molybdate d'ammonium et de l'acide ascorbique. Vous traduirez ensuite les quatre mesures brutes en une évaluation de la santé de la rivière, ce qui correspond exactement à ce que l'analyste qui signe le rapport doit faire.

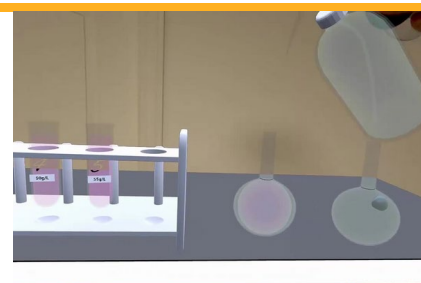
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'échantillonnage sur le terrain
- Utilisation du pH-mètre et des abaques colorimétriques
- Technique de titrage complexométrique
- Détermination colorimétrique des nutriments
- Traitement quantitatif des données
- Interprétation et discipline de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/030-chimie-de-leau-de-riviere/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/030-chimie-de-leau-de-riviere/)

## 038 — Préparation de solution par dissolution

|                            |                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Mixtures, States of Matter          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                    |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases / solutions         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3 · SEP 3, SEP 5 · CCC 5                 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                                        |
| <b>Summary</b>             | Preparing solutions of known mass concentration |



### APERÇU

La préparation d'une solution de concentration connue est l'opération la plus fréquemment réalisée dans n'importe quel laboratoire. Un étalon d'étalonnage pour un instrument, un réactif pour un titrage, un tampon pour une culture cellulaire, un liquide intraveineux, un sirop sur une chaîne de production — tous sont fabriqués selon la même routine en trois étapes : calculer la masse de soluté requise par la concentration cible, peser cette masse et l'amener à un volume final connu. Cette technique vaut la peine d'être apprise avec soin, car tout résultat quantitatif obtenu ultérieurement repose sur la concentration des solutions utilisées pour l'obtenir.

Deux choses rendent la méthode moins évidente qu'elle n'en a l'air. La première est que la concentration peut s'écrire de plusieurs manières numériquement différentes mais qui décrivent la même quantité : une concentration massique en grammes par litre, un pourcentage massique par volume, ou une concentration molaire en moles par litre. Effectuer correctement les conversions entre elles représente la moitié de l'exercice. La seconde est que les volumes de liquides et de solides ne sont pas additifs. Dissoudre un solide dans 100 mL d'eau ne donne pas 100 mL de solution — cela en donne légèrement plus, car les particules dissoutes occupent leur propre espace. C'est pourquoi une solution est toujours préparée en dissolvant le soluté dans moins que le volume final puis en complétant jusqu'à un trait de jauge calibré, et pourquoi le récipient utilisé est une fiole jaugée plutôt qu'un bécher ou une éprouvette graduée.

Dans ce travail pratique, vous allez préparer deux solutions de cristaux de jus, chacune d'un volume final de 100 mL : la solution A à une concentration massique de 25 g/L, et la solution B à 5 % m/v, que vous devrez d'abord convertir en grammes par litre. Pour chacune d'elles, vous calculerez la masse nécessaire, la peserez sur une balance électronique dans une nacelle tarée, la dissoudrez dans environ 50 mL d'eau distillée dans une fiole jaugée de 100 mL, complétez jusqu'au trait de jauge, mélangez, puis transférez le résultat dans un bécher étiqueté. Vous comparerez ensuite les deux solutions à une série de solutions de référence devant une carte noire et identifierez à quelle référence chacune correspond — une estimation purement visuelle de la concentration, et un premier aperçu du principe de la colorimétrie.

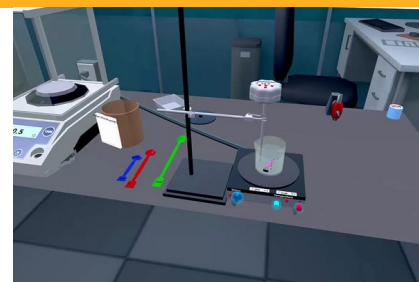
### OBJECTIFS

- Calcul de la masse de soluté
- Utilisation de la balance électronique
- Technique volumétrique
- Dissolution et homogénéisation
- Estimation d'une concentration par la couleur
- Tenue des registres

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/preparation-de-solution-par-dissolution/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/preparation-de-solution-par-dissolution/)

## 039 — Modifier la solubilité d'un solide

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 1 – Thermodynamics       |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 4 · CCC 2, CCC 5     |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                            |
| <b>Summary</b>             | Temperature influence on solubility |



### APERÇU

La solubilité est la propriété qui détermine si une substance peut ou non être utilisée en solution, et c'est le premier chiffre qu'un chimiste consulte avant de concevoir une préparation, une purification ou une formulation. Elle fixe la concentration maximale d'un réactif, détermine si un médicament peut être administré sous forme de sirop ou doit l'être sous forme de comprimé, explique pourquoi le sucre se dissout dans du thé chaud mais pas dans du thé glacé, pourquoi le tartre se forme dans une bouilloire au lieu de s'y dissoudre, et pourquoi une recristallisation fonctionne : un solide est dissous dans un solvant chaud et récupéré à l'état pur lorsque la solution refroidit et que la solubilité diminue.

Deux facteurs déterminent la réponse. Le premier est la nature chimique du soluté et du solvant — la règle empirique selon laquelle qui se ressemble s'assemble, ce qui, en pratique, signifie qu'un solvant dissout un soluté lorsque les interactions qu'il peut offrir sont assez fortes pour compenser la rupture du solide. L'eau, avec sa très haute constante diélectrique et sa capacité à former des liaisons hydrogène, est un excellent solvant pour les ions et pour les petites molécules recouvertes de groupes hydroxyle, et un mauvais solvant pour un polymère dont les chaînes sont liées entre elles par des liaisons hydrogène ou pour un sel dont le réseau est maintenu de manière trop rigide. Le deuxième facteur est la température. La dissolution absorbe ou libère de la chaleur, et la direction de ce flux thermique détermine la direction dans laquelle évolue la solubilité lorsque la solution est chauffée : une dissolution endothermique devient plus facile à température élevée, une dissolution exothermique devient plus difficile. La plupart des solides dans l'eau appartiennent à la première catégorie, mais pas tous, et les exceptions constituent les cas les plus intéressants.

Dans ce laboratoire, vous ajouterez un solide à 100 mL d'eau froide par petites portions pesées, à l'aide d'un barreau aimanté pour maintenir la solution homogène, jusqu'à ce que le solide cesse de se dissoudre et commence à s'accumuler au fond du bcher. Ce point correspond à la saturation, et la masse totale que vous avez ajoutée définit la solubilité de ce solide à température ambiante. Vous chaufferez ensuite le bcher sur une plaque chauffante à 75 °C avec un thermomètre fixé dans le liquide, vous observerez si le solide non dissous se solubilise et vous enregistrerez la température à laquelle il disparaît. Répéter toute la séquence avec du sel de table, du glucose, de la poudre de craie, du bicarbonate de soude et de l'amidon de maïs donne cinq résultats très différents, et ce sont les différences entre eux — et non les chiffres eux-mêmes — que le laboratoire est conçu pour mettre en évidence.

### OBJECTIFS

- Reconnaître et atteindre la saturation
- L'effet de la température
- L'effet de la nature chimique du soluté et du solvant
- Fonctionnement de l'appareil
- Observation, enregistrement et interprétation honnête

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/changement-de-la-solubilite-dun-solide/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/changement-de-la-solubilite-dun-solide/)

## 040 — Précipitations

|                            |                                                |
|----------------------------|------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Chemical Change                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                   |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.2 – Electron transfer reactions   |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2 · SEP 6 · CCC 5                       |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                       |
| <b>Summary</b>             | Formation of precipitates from ionic reactions |



### APERÇU

La précipitation est le moyen le plus simple d'extraire un ion dissous d'une solution : deux liquides limpides sont combinés, et un composé insoluble apparaît sous forme de solide en suspension dans le mélange. Les usines de traitement de l'eau l'utilisent pour éliminer le phosphate et les métaux lourds des effluents, les laboratoires d'analyse utilisent la réaction étudiée ici pour déterminer le calcium par gravimétrie, et c'est la même chimie qui produit les calculs rénaux, qui sont principalement constitués d'oxalate de calcium. Un précipité se forme parce que chaque composé ionique a une limite de solubilité. Lorsque le mélange de deux solutions pousse le produit des concentrations ioniques au-delà de cette limite, l'excès quitte la solution sous forme de solide, tandis que les ions qui s'associent pour former un composé soluble restent dissous et invisibles.

Ce qui rend une réaction de précipitation utile pour l'enseignement, c'est que rien n'y est créé ni détruit. Le solide est nouveau, mais ses atomes étaient déjà dans le bécher ; seuls leurs partenaires ont changé. Dans ce laboratoire, vous peserez un bécher vide de 50 mL et une éprouvette graduée vide de 10 mL, mesurerez 5 mL de chlorure de calcium à 0,2 M et 5 mL d'oxalate d'ammonium à 0,2 M, peserez chaque solution dans son propre récipient, les mélangerez, agitez pendant cinq secondes et observerez l'apparition d'un solide blanc, puis peserez le bécher une dernière fois. La comparaison de la masse totale des récipients avant le mélange avec la masse totale après constitue un test direct de la loi de conservation de la masse, et la quantité de substance contenue dans chaque portion de 5 mL vous permet de prédire quelle quantité de solide aurait dû se former.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation de la balance analytique
- Mesure des volumes de liquides
- Préparation et combinaison des solutions de réactifs
- Observation d'une réaction de précipitation
- Interprétation quantitative des résultats
- Sécurité en laboratoire et bonnes pratiques

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/precipitations/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/precipitations/)

## 041 — Préparation d'une solution

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Measurement and Concentration          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.1 – Amount of substance               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-7 · SEP 5 · CCC 3                           |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                                           |
| <b>Summary</b>             | Dissolution and dilution to a target concentration |



### APERÇU

Préparer une solution d'une concentration déterminée est l'opération la plus courante dans un laboratoire de chimie, et il n'y a que deux façons de le faire : dissoudre une masse pesée de solide et compléter le volume jusqu'à un trait de jauge, ou prélever un volume mesuré d'une solution existante et la diluer. Les laboratoires d'analyse, les pharmacies hospitalières et les usines de traitement de l'eau conservent tous des solutions mères concentrées et les diluent le jour de leur utilisation, car une dilution peut être effectuée avec plus de précision et beaucoup plus rapidement qu'une pesée. Les deux méthodes fonctionnent pour la même raison : la concentration est un rapport, la masse de soluté divisée par le volume de solution, de sorte que l'ajout de solvant modifie le volume et donc la concentration, mais jamais la quantité de soluté déjà présente.

Le permanganate de potassium est un soluté utile pour apprendre cela car sa couleur indique sa concentration : plus le violet est foncé, plus la solution est concentrée. Dans ce laboratoire, vous préparerez une solution par chaque méthode et vérifierez les deux par rapport à un ensemble de six tubes de référence. D'abord, vous peserez environ 4 g de permanganate de potassium, l'introduirez à l'aide d'un entonnoir dans une fiole jaugée de 100 mL, le dissoudrez dans de l'eau distillée et ajusterez le volume jusqu'au trait de jauge, ce qui donne 40 g/L. Ensuite, vous mesurerez 54,7 mL de cette solution dans une fiole jaugée de 250 mL, complèterez cette fiole jusqu'à son propre trait de jauge, et obtiendrez 8,75 g/L. En comparant chaque résultat aux tubes témoins, vous bouclerez la boucle entre un calcul sur papier et quelque chose que vous pouvez voir.

### OBJECTIFS

- Préparation d'une solution par dissolution
- Préparation d'une solution par dilution
- Utilisation correcte de la verrerie jaugée
- Calculs de concentration
- Vérification colorimétrique d'un résultat
- Manipuler un oxydant puissant en toute sécurité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/preparation-dune-solution/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/preparation-dune-solution/)



## 043 — Dilutions

|                            |                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Measurement and Change                  |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.1 – Amount of substance                |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-7 · SEP 5 · CCC 3                            |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-1                                            |
| <b>Summary</b>             | Preparing dilutions to identify an unknown solution |



### APERÇU

La dilution permet de transformer une solution concentrée soigneusement préparée en les différentes concentrations d'utilisation dont un laboratoire, une pharmacie hospitalière ou une usine d'embouteillage a réellement besoin. Une seule solution mère est préparée et contrôlée une seule fois, puis chaque solution plus diluée est obtenue à partir de celle-ci en prélevant un volume connu et en complétant ce volume jusqu'à un volume final connu. Les désinfectants, les doses de médicaments administrés par voie intraveineuse, les tampons, les révélateurs photographiques et les sirops utilisés dans les boissons gazeuses sont tous préparés de cette manière, car mesurer un volume avec précision est plus rapide et bien plus reproductible que de peser à chaque fois une petite masse de soluté.

La science derrière cela est une déclaration de conservation : l'ajout d'un solvant modifie le volume d'une solution et par conséquent sa concentration, mais ne modifie pas la quantité de soluté qui s'y trouve déjà. Si un volume  $V_1$  d'une solution à la concentration  $C_1$  est dilué à un volume final  $V_2$ , la quantité de soluté est la même avant et après, donc  $C_1V_1 = C_2V_2$ . Le rapport  $V_2/V_1$  est appelé le facteur de dilution, et la concentration diminue exactement de ce facteur. Lorsque le soluté est coloré, cette diminution est visible : une solution plus diluée absorbe moins de lumière et paraît plus pâle, ce qui permet d'utiliser une série de dilutions connues comme échelle de comparaison pour un échantillon dont la concentration n'a jamais été mesurée.

Dans ce travail pratique, on vous remet une solution à une concentration de 5 % V/V et une deuxième solution dont la concentration est inconnue ; votre tâche consiste à déterminer la concentration de cette dernière. À l'aide d'une éprouvette graduée de 10 ml et de deux fioles volumétriques de 100 ml, vous préparerez deux solutions de référence à partir de la solution mère : la solution A à 0,5 % V/V à partir d'une aliquote de 10 ml, et la solution B à 0,1 % V/V à partir d'une aliquote de 2 mL — puis de comparer la solution inconnue à ces deux solutions et de déterminer à laquelle des deux elle correspond.

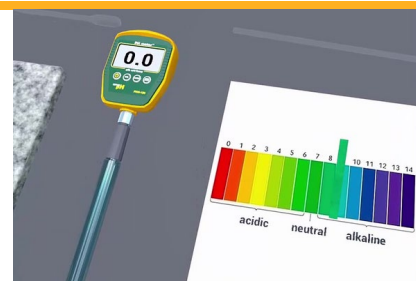
### OBJECTIFS

- Comprendre ce que fait une dilution
- Utilisation quantitative de la relation de dilution
- Utilisation correcte de la verrerie jaugée
- Concentration, couleur et comparaison par rapport à une référence

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/dilutions/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/dilutions/)

## 046 — pH

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Acids and bases                      |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                     |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.1–3.4                               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2 · SEP 3, SEP 4 · CCC 1                  |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                         |
| <b>Summary</b>             | Measuring pH with indicators and a digital meter |



### APERÇU

Presque tous les processus chimiques qui se déroulent dans l'eau sont sensibles au degré d'acidité ou de basicité de cette eau. Le sang est maintenu à environ un dixième d'unité de pH de 7,4, le pH du sol détermine quelles cultures pousseront, et les effluents industriels sont réglementés en fonction du pH avant de pouvoir être rejetés. Mesurer le pH de manière fiable et savoir dans quelle mesure on peut faire confiance à une mesure donnée est l'une des compétences les plus largement utilisées en chimie analytique.

La quantité elle-même est définie de manière logarithmique :  $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$ , où  $[\text{H}^+]$  est la concentration d'ions hydrogène en moles par litre. Comme l'échelle est logarithmique, chaque unité entière représente un changement d'acidité d'un facteur dix — une solution à pH 3 contient cent fois plus d'ions hydrogène qu'une solution à pH 5. L'eau pure à 25 °C se situe à un pH de 7, le point où  $[\text{H}^+]$  et  $[\text{OH}^-]$  sont tous les deux  $10^{-7} \text{ mol/L}$ .

Ce laboratoire utilise trois méthodes par ordre croissant de précision. Le papier tournesol indique seulement si une solution est acide ou basique. Un indicateur universel produit une couleur qui peut être comparée à un nuancier à environ une unité de pH près. Un pH-mètre étalonné donne une lecture au centième d'unité. Vous appliquerez ces trois méthodes à trois liquides inconnus, puis vous dissoudrez un sel — le sulfate d'ammonium — et constaterez qu'un composé ne contenant aucun groupe hydroxyde et aucun hydrogène acide évident donne néanmoins une solution nettement acide. Expliquer pourquoi est le cœur analytique de l'exercice.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation d'équipements de protection
- Choisir une méthode de mesure appropriée
- Utilisation correcte d'un pH-mètre
- Préparation d'une solution à partir d'un solide pesé
- Interprétation quantitative de l'échelle de pH
- Prédire si un sel dissous sera acide, basique ou neutre

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/ph/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/ph/)

## 047 — Titrage acido-basique 1

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Chemical Reactions            |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3 – Acid–base neutralization   |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2; HS-PS1-7 · SEP 3, SEP 5 · CCC 3 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                  |
| <b>Summary</b>             | Colorimetric determination of pH in water |



### APERÇU

La colorimétrie est le moyen le plus économique de mesurer une quantité chimique : ajoutez un réactif qui change de couleur en fonction de la quantité souhaitée, puis comparez le résultat à un ensemble de références de valeur connue. Elle ne nécessite ni électricité, ni étalonnage, ni autre verrerie qu'un tube, ce qui explique qu'elle reste la méthode standard pour tester les piscines et les aquariums, pour les études de terrain des lacs et des rivières, et pour les bandelettes réactives utilisées dans les cliniques. Sa limite est tout aussi évidente : le résultat n'est valable que pour l'œil qui le lit et n'est précis que selon l'espacement des références.

La quantité mesurée ici est le pH, défini comme  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ , de sorte que chaque unité entière de pH représente une variation décuple de la concentration en ions hydronium. Un indicateur universel n'est pas un seul colorant, mais un mélange de plusieurs acides faibles, dont chacun change de couleur sur une plage de pH différente et étroite. Étant donné que leurs constantes de dissociation acide sont échelonnées, le mélange dans son ensemble change de couleur progressivement du rouge au jaune et du vert au bleu sur une plage d'environ pH 3 à pH 10, et cette couleur peut être utilisée pour remplacer la mesure de  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  qui nécessiterait autrement une électrode.

Dans ce laboratoire, vous construirez vous-même l'échelle de référence au lieu qu'on ne vous en donne une. Vous mesurerez des portions de 25 mL de solutions de pH connu dans un rack de tubes à essai, y ajouterez cinq gouttes d'indicateur universel à chacune, produisant ainsi une échelle de couleurs de pH 3 à pH 7. Vous traiterez ensuite un échantillon d'eau de lac de la même manière, comparerez sa couleur à votre échelle pour obtenir son pH, étendrez l'échelle aux pH 8 et 9 si l'échantillon s'avère alcalin, et enfin vérifierez chaque tube avec un pH-mètre pour voir à quel point la réponse colorimétrique était précise.

### OBJECTIFS

- Comprendre le pH comme une échelle logarithmique
- Construction et utilisation d'une échelle de référence colorimétrique
- Manipulation de l'indicateur et de la verrerie
- Comparaison d'une méthode avec une autre
- Évaluer les limites d'une méthode visuelle

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/titrage-acido-basique-1/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/titrage-acido-basique-1/)

## 048 — Le pH des acides forts et faibles

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy, Change             |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                           |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.1 – Acid–base equilibrium |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 4, SEP 6 · CCC 1        |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                               |
| <b>Summary</b>             | Comparison of strong and weak acids    |



### APERÇU

Deux solutions peuvent contenir la même quantité d'acide par litre et être pourtant très différentes quant à leur acidité. Les usines de traitement de l'eau, les fabricants de produits alimentaires, les aquariophiles et les laboratoires cliniques dépendent tous de cette distinction : l'étiquette d'une bouteille indique une concentration, mais ce qui corrode une tuyauterie, fait cailler une protéine ou tue un poisson, c'est la concentration d'ions hydronium réellement présente dans le liquide. Choisir un acide, et décider de la quantité à en utiliser, signifie donc savoir s'il libère ses protons complètement ou seulement partiellement.

Un acide dissous dans l'eau transfère un proton à une molécule d'eau. Un acide fort tel que l'acide chlorhydrique fait cela totalement, de sorte que chaque mole dissoute libère une mole d'ion hydronium. Un acide faible tel que l'acide éthanoïque — l'acide acétique, l'acide du vinaigre — atteint plutôt un équilibre : à tout moment, seule une petite fraction de ses molécules a libéré son proton, et cette fraction dépend de la dilution de la solution. L'échelle de pH,  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ , place les deux cas sur le même axe, et un pH-mètre lit cet axe directement en mesurant le potentiel développé aux bornes d'une électrode de verre.

Dans ce laboratoire, vous allez préparer une série de trois solutions d'acide éthanoïque par dilution en série — 1 mol/L, 0,1 mol/L et 0,01 mol/L — chacune étant fabriquée à partir de la précédente en prélevant 5 mL à l'aide d'une pipette jaugée dans une éprouvette graduée de 50 mL et en complétant jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. Un quatrième bécher reçoit de l'acide chlorhydrique à 0,10 mol/L, soit la même concentration que la deuxième solution d'acide éthanoïque. Vous mesurerez ensuite le pH des quatre solutions à l'aide d'un pH-mètre, en rincant et en séchant l'électrode entre les béchers. Les trois lectures de l'acide éthanoïque montrent l'effet de la dilution sur un acide faible ; la paire à 0,10 mol/L montre ce que les mots fort et faible valent réellement en unités de pH.

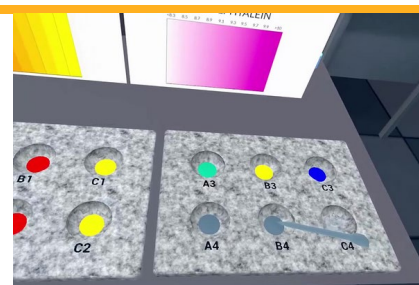
### OBJECTIFS

- Technique de dilution sérielle
- Utilisation du pH-mètre
- Distinguer la concentration de l'acidité
- Interprétation quantitative d'une mesure de pH
- Manipulation et élimination sécuritaires des acides

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/le-ph-des-acides-forts-et-faibles/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/le-ph-des-acides-forts-et-faibles/)

## 049 — Utilisation d'indicateurs de pH

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Observation, Change     |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3 – Indicators & buffers |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2 · SEP 4 · CCC 1            |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                            |
| <b>Summary</b>             | Colorimetric pH measurement         |



### APERÇU

Un indicateur acido-basique est un colorant qui prend une couleur en milieu acide et une autre en milieu basique. Les kits de test pour piscine, les kits pour le sol, les kits pour aquarium et le papier universel de tous les laboratoires scolaires fonctionnent tous de cette manière, de même que le point de fin de réaction d'un titrage. Ce qui rend un indicateur utile est aussi ce qui le limite : un colorant unique ne répond qu'à une seule question — le pH est-il supérieur ou inférieur à ma zone de virage ? — de sorte qu'un seul godet ne peut jamais donner un pH, mais seulement une inégalité. Cependant, si l'on place plusieurs colorants ayant des plages différentes les uns à côté des autres, les inégalités se referment les unes sur les autres des deux côtés.

Chaque colorant se comporte de cette manière parce qu'il s'agit lui-même d'un acide faible. Sa forme protonnée  $HIn$  et sa forme déprotonnée  $In^-$  absorbent la lumière différemment, et les deux sont en équilibre :  $HIn + H_2O \rightleftharpoons In^- + H_3O^+$ . En réarrangeant l'expression de l'équilibre, on obtient  $pH = pK_{\text{Dans}} + \log\left(\frac{[In^-]}{[HIn]}\right)$ , de sorte que le rapport des deux formes colorées est fixé par le seul pH. L'œil cesse de distinguer un mélange de la forme pure à un rapport d'environ un à dix, c'est pourquoi chaque indicateur change sur une plage d'environ deux unités de pH, centrée sur son propre  $pK_{\text{Dans}}$ , et présente une seule couleur unie de chaque côté de cette bande.

Dans ce laboratoire, vous remplirez deux plaques à six puits sous forme de grille de trois par quatre : trois solutions inconnues versées dans les colonnes A, B et C, et quatre indicateurs — le orangé de méthyle, le rouge de méthyle, le bleu de bromothymol et la phénolphthaléine — disposés sur les lignes 1 à 4. Douze puits donnent douze couleurs. Vous capturerez la plaque avec la tablette, comparerez chaque puits au nuancier gradué affiché sur la table pour cet indicateur, noterez l'inégalité qu'implique chaque couleur et combinerez les quatre inégalités de chaque colonne pour encadrer le pH de cet inconnu. L'un des trois encadrements s'avérera unilatéral, ce qui constitue un résultat en soi.

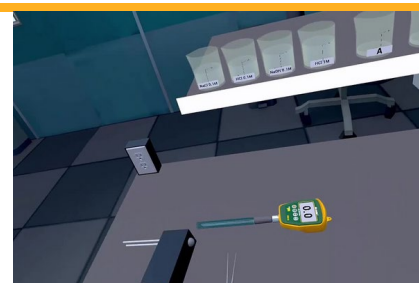
### OBJECTIFS

- Travailler avec une plaque de puits
- Comment fonctionne un indicateur
- Lire une couleur comme une inéquation
- Combinaison des données probantes de plusieurs tests
- Enregistrement et signalement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/a-laide-dindicateurs-de-ph/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/a-laide-dindicateurs-de-ph/)

## 050 — Conductivité et pH

|                            |                                                       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy and Matter                         |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                          |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 2.4 – Bonding and materials                 |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2 · SEP 4 · CCC 2                              |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                              |
| <b>Summary</b>             | Acids, bases and salts: conductivity, pH and dilution |



### APERÇU

Trier un liquide inconnu en acide, en base ou en sel est la première chose qu'un analyste fait avec, et les trois tests utilisés ici sont les plus anciens du métier. Une paire de papiers tournesol ne coûte presque rien et répond à la question en quelques secondes. Une ampoule branchée en série avec deux électrodes trempées dans le liquide montre si le liquide transporte des ions ou non. Une bande de magnésium réagit avec effervescence dans un acide et reste inerte dans tout le reste. À eux deux, ces tests permettent de séparer un sel d'un acide et d'une base sans la moindre lecture d'instrument, ce qui explique pourquoi ils subsistent tant dans les trousse de terrain pour la qualité de l'eau que dans les laboratoires scolaires.

Ce à quoi les trois tests répondent est différent dans chaque cas, et c'est bien là le but de réaliser les trois. Le tournesol est un colorant dont la couleur dépend du pH, il indique donc la concentration en hydronium. L'ampoule réagit aux ions mobiles, et tout composé ionique soluble en fournit, qu'il soit acide, basique ou neutre — la conductivité sépare donc les solutions ioniques des solutions moléculaires, et non les acides des bases. Le magnésium réagit uniquement avec l'ion hydronium, étant oxydé en  $Mg^{2+}$  pendant que  $H_3O^+$  est réduit en hydrogène gazeux. Trois tests, trois questions différentes ; seule leur combinaison permet d'identifier une solution.

Dans ce laboratoire, vous effectuerez les trois tests sur du chlorure de sodium, de l'acide chlorhydrique et de l'hydroxyde de sodium à 0,1 mol/L, en enregistrant pour chacun la conductivité, les deux couleurs de tournesol, la lecture du papier pH et le résultat avec le magnésium. Vous préparerez ensuite quatre dilutions d'acide chlorhydrique à 1 mol/L — 10 mL complétés à 30 mL, à 60 mL et à 100 mL, et 1 mL complété à 100 mL — et vous mesurerez le pH des cinq solutions acides à l'aide d'un pH-mètre. La deuxième partie transforme l'échelle de pH approximative de la première partie en une échelle quantitative, et montre que le pH d'un acide fort n'est rien d'autre que le logarithme de son degré de dilution.

### OBJECTIFS

- Classer une solution à partir de preuves
- La manipulation des instruments
- Papier tournesol et papier pH comme indicateurs
- Conductivité et ions dissous
- La dilution et l'échelle logarithmique du pH
- Sécurité et élimination

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/conductivite-et-ph/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/conductivite-et-ph/)

## 051 — Stœchiométrie

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Chemical reactions      |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Stoichiometry, reactivity           |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-7 · SEP 5, SEP 6 · CCC 5     |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-5                            |
| <b>Summary</b>             | Quantitative chemical relationships |



### APERÇU

La stœchiométrie est l'arithmétique de la chimie : l'ensemble des règles qui permettent à un chimiste de prédire, avant tout mélange, exactement quelle quantité de produit une réaction va générer. Une usine pharmaceutique l'utilise pour dimensionner un lot, un opérateur de traitement des eaux l'utilise pour doser un coagulant, et un conceptionnaire de moteurs l'utilise pour régler un rapport air-carburant. Ces règles découlent d'un seul fait, la conservation de la matière — une réaction réarrange les atomes mais ne les crée ni ne les détruit jamais — de sorte que les coefficients d'une équation équilibrée fixent le rapport dans lequel les substances se combinent. Ce rapport est un rapport de moles, et non de grammes ni de millilitres, ce qui explique pourquoi tout calcul stœchiométrique passe par la mole sur le chemin allant de ce qui est mesuré à ce qui est prédit.

Ce laboratoire met cette prédiction à l'épreuve sur une neutralisation. L'acide sulfurique est diprotique : chaque unité formulaire peut libérer deux protons, il faut donc deux moles d'hydroxyde de sodium pour chaque mole de lui-même, et l'équation équilibrée se lit  $\text{H}_2\text{DONC}_4(\text{aq}) + 2 \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{DONC}_4(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ . Les deux produits sont invisibles au moment de leur formation — le sulfate de sodium reste dissous et la nouvelle eau se contente de rejoindre l'eau déjà présente — de sorte que la seule façon de voir ce qui a été produit est d'éliminer le solvant.

Dans ce laboratoire, vous pipetterez 10 mL d'acide sulfurique à 1,0 mol/L et 10 mL d'hydroxyde de sodium à 2,0 mol/L dans une capsule en porcelaine qui a déjà été pesée, vous ferez évaporer l'eau sur une plaque chauffante, sécherez le résidu à 70 °C et pèserez à nouveau la capsule. Comme la capsule, le papier filtre et l'barreau aimanté sont posés sur la balance les deux fois, leurs masses s'annulent lors de la soustraction et la différence correspond à la masse du sel seul. Cette masse mesurée est ensuite comparée à la masse prédite par l'équation équilibrée. La comparaison, plutôt que le sel, est le résultat de l'expérience.

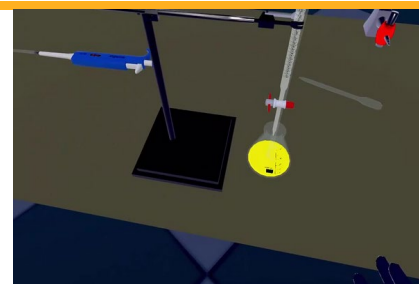
### OBJECTIFS

- Interprétation d'une équation chimique équilibrée
- Conversion entre concentration, volume, quantité et masse
- Reconnaissance des quantités stœchiométriques et limitantes
- Technique de laboratoire quantitative
- Isolement d'un produit dissous
- Comparer une mesure avec une prédiction
- Manipulation sans risque des produits corrosifs et des équipements chauds

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/51-stoechiometrie-q3-2025/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/51-stoechiometrie-q3-2025/)

## 052 — Titrage acido-basique 2

|                     |                                           |
|---------------------|-------------------------------------------|
| IB Programme        | Chemistry — Neutralization                |
| Secondary Programme | DP Chemistry                              |
| Syllabus Reference  | Reactivity 3 – Chemical change            |
| NGSS (HS)           | HS-PS1-2; HS-PS1-7 · SEP 3, SEP 5 · CCC 5 |
| NGSS (MS)           | MS-PS1-2                                  |
| Summary             | Titration and stoichiometry calculations  |



### APERÇU

Le titrage est la méthode standard pour répondre à une question qui ne peut être résolue par une simple observation : quelle quantité de substance dissoute est présente. Une solution de concentration connue est ajoutée à un volume mesuré de la solution inconnue, en petites quantités contrôlées, jusqu'à ce qu'il y en ait juste assez pour la consommer. Le volume nécessaire est lu sur une burette, et comme l'équation stœchiométrique fixe le rapport dans lequel les deux substances réagissent, ce volume donne directement la concentration inconnue. Les usines de traitement de l'eau, les laiteries, les caves vinicoles, les gestionnaires de piscines et les laboratoires cliniques effectuent tous des titrages quotidiennement, et la technique reste la méthode de référence par rapport à laquelle les analyses instrumentales plus rapides sont étalonnées.

La chimie sous-jacente est une neutralisation. L'acide chlorhydrique et l'hydroxyde de sodium réagissent à raison d'une mole pour une mole,  $\text{HCl(aq)} + \text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{H}_2\text{O}$ . Ainsi, au moment où l'acide est exactement consommé, la quantité de base ajoutée est égale à la quantité d'acide qui était présente. Ce moment est le point d'équivalence et, le chlorure de sodium étant le sel d'un acide fort et d'une base forte, aucun de ses ions ne réagit avec l'eau et la solution à l'équivalence est exactement neutre, de pH 7,00. Le problème est de le voir. Un indicateur est ajouté — ici le bleu de bromothymol, qui est jaune en dessous d'un pH de 6,0 et bleu au-dessus de 7,6 — de sorte que la solution change de couleur lorsque le point d'équivalence est franchi.

Dans ce laboratoire, vous fixerez une burette de 50 mL à une potence, la remplirez d'hydroxyde de sodium à 2,0 mol/L avec le ménisque réglé à zéro et sans bulle dans le robinet, prélèverez à la pipette 10 mL d'acide chlorhydrique de concentration inconnue dans un erlenmeyer, et ajouterez trois gouttes de bleu de bromothymol. Vous libérerez ensuite la base goutte à goutte, en mélangeant après chaque ajout, jusqu'à ce que la solution jaune vire. Le comptage des gouttes donne le volume de base versé, et à partir de ce volume, la concentration de l'acide se déduit en deux lignes de calcul. C'est la première véritable titration de la collection : le laboratoire 047, malgré son titre, est une détermination colorimétrique du pH sans burette ni point d'équivalence.

### OBJECTIFS

- Le principe de l'analyse volumétrique
- Stœchiométrie de neutralisation
- Choisir et lire un indicateur
- technique de la verrerie jaugée
- Gestion des données et précision
- Sécurité avec les produits corrosifs concentrés

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/052-titrage-acido-basique-2/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/052-titrage-acido-basique-2/)



## 053 — La pression des gaz

|                            |                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — States of Matter               |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics                  |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases / B.3 Gas laws |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-3; HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 5  |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                                   |
| <b>Summary</b>             | Measuring gas pressure with a manometer    |



### APERÇU

La pression est une force répartie sur une surface et, pour un gaz, elle correspond à l'effet combiné d'innombrables molécules frappant les parois de leur récipient. C'est l'une des rares propriétés d'un gaz qui puisse être lue directement sur un instrument, raison pour laquelle presque toute manipulation pratique impliquant des gaz commence par sa mesure : un plongeur vérifiant une bouteille avant d'entrer dans l'eau, un technicien chargeant un circuit de réfrigération, une infirmière utilisant un détendeur d'oxygène médical, un mécanicien réglant la pression des pneus. L'instrument qui effectue cette lecture dans presque tous ces cas est le manomètre à cadran de Bourdon, breveté par Eugène Bourdon en 1849 et qui reste la norme après cent soixante-dix ans.

À l'intérieur de ce type de manomètre se trouve un tube métallique aplati, courbé en arc et scellé à une extrémité. L'augmentation de la pression à l'intérieur rend sa section ovale plus ronde, et un tube dont la section s'arrondit doit se redresser, de sorte que l'extrémité scellée se déplace vers l'extérieur sur une petite distance. Un système de tringlerie et un pignon et crémaillère amplifient ce mouvement pour balayer une aiguille sur un cadran. Rien n'est mesuré électriquement et rien ne nécessite d'alimentation électrique ; c'est la déflexion d'un morceau de métal qui fait le travail. Comme l'extérieur du tube est exposé à la pièce, le manomètre réagit à la différence entre la pression interne et la pression atmosphérique externe — il indique la pression relative et affiche zéro lorsqu'il est ouvert à l'air libre.

Dans ce laboratoire, vous mesurerez la pression contenue dans quatre bouteilles de gaz scellées. Pour chacune d'elles tour à tour, vous connecterez le manomètre au tuyau de la bouteille, ouvrirez la valve de la bouteille d'une touche, laisserez l'aiguille se stabiliser, lirez le cadran en kilopascals, fermerez la valve et détacherez le tuyau avant de passer à la suivante. La technique est brève et la rigueur est essentielle : connecter avant d'ouvrir, lire seulement une fois que l'aiguille s'est arrêtée, et fermer la valve avant de déconnecter quoi que ce soit. Les relevés deviennent alors la matière première de tout ce qui suit dans les laboratoires de gaz — la relation pression-volume dans les laboratoires 054 et 055, et l'effet de la température dans le 056.

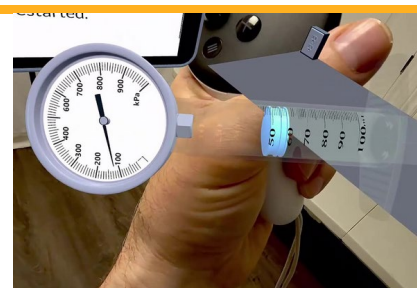
### OBJECTIFS

- Comprendre ce qu'est la pression
- Utilisation d'un manomètre à tube de Bourdon
- Lecture d'un cadran analogique
- Pression relative et pression absolue
- Travailler avec des unités de pression
- Manipuler le gaz comprimé en toute sécurité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-pression-des-gaz/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-pression-des-gaz/)

## 054 — La relation entre le volume et la pression d'un gaz 1

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy & Systems           |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1, CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                               |
| <b>Summary</b>             | Boyle's Law experiment                 |



### APERÇU

Un gaz n'a pas de taille fixe. Comprimez-le et il occupe moins d'espace ; relâchez-le et il se détend à nouveau. Les ingénieurs comptent sur ce comportement chaque fois qu'ils conçoivent une pompe à vélo, le temps de compression d'un moteur, un détendeur de plongée, un frein pneumatique ou une seringue, et c'est ainsi que fonctionne la respiration : la cage thoracique s'élargit, la pression à l'intérieur des poumons chute en dessous de la pression ambiante, et l'air entre. L'énoncé quantitatif qui sous-tend tout cela est la loi de Boyle : à température constante, une quantité fixe de gaz satisfait  $P \times V = \text{constante}$ , de sorte que la pression et le volume sont inversement proportionnels.

La raison microscopique est que la pression n'est rien de plus que la force cumulée des molécules frappant les parois de leur récipient. Comprimer un gaz ne rend pas ses molécules plus rapides ; cela nécessiterait de les chauffer. Cela tasse le même nombre de molécules dans un espace plus restreint, de sorte qu'un plus grand nombre d'entre elles atteignent la paroi chaque seconde et que la force par unité de surface augmente en proportion exacte de l'entassement. Réduisez le volume de moitié et la pression double ; doublez le volume et elle est divisée par deux.

Dans ce laboratoire, vous allez enfermer exactement 50 mL d'air ambiant dans une seringue graduée, la raccorder à un manomètre à cadran par un raccord étanche à l'air, puis modifier le volume par petits paliers — en tirant d'abord le piston vers 100 mL, puis en l'poussant vers 20 mL — en lisant la pression à chaque palier. Le tracé de la pression en fonction du volume donne une hyperbole ; son tracé en fonction de l'inverse du volume redresse cette hyperbole en une droite passant par l'origine dont la pente est la constante  $P_1V_1$ . Remettre le piston à 50 mL à la fin de chaque étape et vérifier que la pression initiale revient est le test d'étanchéité qui détermine si l'on peut ou non se fier à la mesure.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation d'un système de gaz étanche
- Mesure et enregistrement des données
- Traitement quantitatif de la loi de Boyle
- Contrôle expérimental et validité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-le-volume-et-la-pression-dun-gaz-1/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-le-volume-et-la-pression-dun-gaz-1/)

## 055 — La relation entre le volume et la pression d'un gaz 2

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy & Systems           |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1, CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                               |
| <b>Summary</b>             | Advanced Boyle's Law demonstration     |



### APERÇU

L'appareil de Boyle est l'instrument qui a permis de rendre mesurable la première loi des gaz, et une version de celui-ci se trouve encore dans la plupart des laboratoires d'enseignement de physique et de chimie. Une quantité fixe d'air est piégée dans un tube vertical gradué au-dessus d'un réservoir d'huile ; l'huile est incompressible et étanche au gaz, elle se comporte donc comme un piston qui assure une fermeture parfaite et coulisse sans frottement. En pompant de l'air dans le réservoir, l'huile monte et comprime la colonne piégée dans un espace de plus en plus petit tandis qu'un manomètre enregistre la pression. Le même principe régit une pompe à vélo, la course de compression d'un moteur, une bombe aérosol, les poumons d'un plongeur lors de la remontée et l'accumulateur hydraulique d'un engin de chantier.

La relation mesurée est la loi de Boyle : pour une quantité fixe de gaz à température constante,  $P \times V$  est une constante. La pression est la force cumulée des molécules frappant les parois ; par conséquent, entasser le même nombre de molécules dans la moitié de l'espace double leur fréquence d'impact et double la pression. Deux conditions doivent être réunies pour que la loi soit exacte, et ce sont toutes deux des conditions que l'appareil doit être manipulé avec soin pour satisfaire : la quantité de gaz piégé ne doit pas changer, ce que garantit le joint d'huile, et la température ne doit pas changer, raison pour laquelle on laisse le temps à l'air comprimé de refroidir avant de noter quoi que ce soit.

Dans ce laboratoire, vous connecterez la pompe à main, vérifierez que le robinet est ouvert et pomperez jusqu'à ce que le manomètre indique environ 500 kPa, tout en observant l'huile monter et la colonne d'air diminuer. Vous fermez ensuite la valve, attendez une minute que l'air comprimé revienne à la température ambiante, et notez le volume de la colonne d'air ainsi que la pression. La libération de l'air par étapes fournit une série de lectures corrélées, de la colonne comprimée jusqu'à son volume initial complet de 200 mL. Le tracé de la pression en fonction du volume produit une hyperbole ; le tracé en fonction de  $1/V$  transforme cette courbe en une droite passant par l'origine, dont la pente est la constante de Boyle pour l'échantillon scellé.

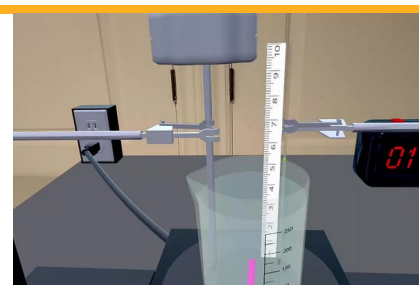
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Exploiter un système sous pression en toute sécurité
- Mesure et enregistrement des données
- Traitement quantitatif de la loi de Boyle
- Évaluation critique de la mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-le-volume-et-la-pression-dun-gaz-2/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-le-volume-et-la-pression-dun-gaz-2/)

## 056 — La relation entre la température et le volume d'un gaz

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy             |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 1.5 – Ideal gases            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1, CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                               |
| <b>Summary</b>             | Charles' Law experiment                |



### APERÇU

Chauffez un gaz et il se dilate. Ce seul fait maintient une montgolfière dans le ciel, entraîne la convection qui fait circuler l'air dans une pièce, fait lever le pain, et est la raison pour laquelle le témoin de pression des pneus d'une voiture s'allume lors de la première matinée froide de l'hiver. Exprimé quantitativement, c'est la loi de Charles : pour une quantité fixe de gaz maintenue à pression constante, le volume est directement proportionnel à la température absolue,  $V / T = \text{constante}$ . Le mot absolu fait tout le travail — la proportionnalité ne vaut que lorsque la température est comptée à partir du point où le mouvement moléculaire cesserait, et non à partir du point de congélation de l'eau.

La raison est la même image cinétique qui explique la loi de Boyle, prise à l'envers. La température détermine la vitesse à laquelle les molécules se déplacent. Réchauffez le gaz et chaque molécule frappe la paroi plus violemment et plus souvent, de sorte que si le gaz était confiné, la pression augmenterait. Ici, il n'est pas confiné : le gaz est libre de pousser son joint le long du tube jusqu'à ce qu'il se soit suffisamment détendu pour que les collisions équilibrent à nouveau la pression de la pièce extérieure. Le volume auquel il se stabilise est proportionnel à la température absolue.

Dans ce laboratoire, vous piègerez une courte colonne d'air dans un tube capillaire en verre de 0,5 mm de rayon interne, scellé au sommet par une goutte d'huile d'olive qui coulisse librement et ne fuit pas. Le tube est fixé à côté d'une règle et immergé dans un bécher d'eau glacée sur une plaque chauffante agitative. En réchauffant le bain par paliers d'environ dix degrés et en lisant la hauteur du bas de la goutte à chaque palier, on obtient dix paires correspondantes de température et de longueur. Comme le calibre est uniforme, la hauteur est le volume à un facteur multiplicatif près, de sorte qu'un graphique de la hauteur en fonction de la température est un graphique de la loi de Charles — et le point où cette ligne droite atteint une hauteur nulle est le zéro absolu, déterminé à partir d'un banc dans une pièce chauffée.

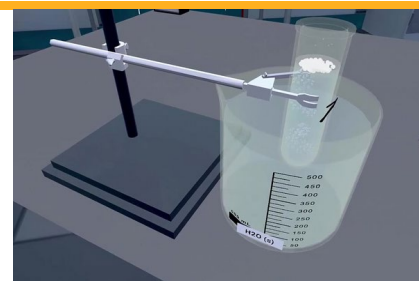
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Préparation d'un échantillon scellé
- Mesure et enregistrement des données
- Traitement quantitatif de la loi de Charles
- Évaluation critique de la mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-la-temperature-dun-gaz-et-son-volume/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/la-relation-entre-la-temperature-dun-gaz-et-son-volume/)

## 057 — La relation entre la solubilité des gaz et la température

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change & Systems              |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 1 – Energy changes             |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5; HS-PS3-2 · SEP 4 · CCC 1, CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-4                                  |
| <b>Summary</b>             | Temperature dependence of solubility      |



### APERÇU

Toute boisson gazeuse est un gaz maintenu dans un liquide sous pression, et chacune d'elles finit par perdre son effervescence. La relation qui sous-tend cette observation quotidienne n'est pas une simple curiosité : elle régit la quantité d'oxygène qu'une rivière peut retenir pour ses poissons, la quantité de dioxyde de carbone que l'océan absorbe de l'atmosphère, la façon dont une brasserie gazeifie son produit, la manière dont une station de traitement élimine le gaz dissous de l'eau d'alimentation des chaudières avant qu'il ne corrode la tuyauterie, et la raison pour laquelle un échantillon de gaz du sang doit être maintenu au frais sur le chemin du laboratoire. Dans chaque cas, la quantité qui importe est la concentration d'un gaz dissous dans un liquide, et deux facteurs la déterminent : la pression de ce gaz au-dessus du liquide, et la température du liquide lui-même.

La relation dominante est la loi de Henry : à l'équilibre, la concentration d'un gaz dissous est proportionnelle à sa pression partielle au-dessus de la solution. La constante de proportionnalité dépend fortement de la température et, pour un gaz, elle évolue dans le sens opposé à celui de la plupart des solides : réchauffer un liquide chasse le gaz dissous au lieu d'en laisser dissoudre davantage. La raison en est que la dissolution d'un gaz dégage de la chaleur, de sorte que, selon le principe de Le Chatelier, l'ajout de chaleur ramène l'équilibre vers la phase gazeuse. Dans ce laboratoire, vous placerez trois tubes à essai scellés d'eau gazeuse à trois températures différentes — l'un dans un bain de glace, l'autre dans de l'eau chaude, et le troisième à température ambiante sur la paillasse —, puis vous retirerez les bouchons et chronometrerez la durée de l'effervescence dans chacun d'eux. La température est le seul paramètre qui diffère entre les tubes ; le liquide, le volume et la pression initiale sont identiques dans les trois, de sorte que toute différence dans le résultat est uniquement imputable à la température.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Construction d'une comparaison contrôlée
- Fonctionnement des supports et des pinces universelles
- Observation et minutage
- Application de la loi de Henry
- Raisonnement thermodynamique
- Évaluation critique des données probantes

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/relation-entre-la-solubilite-des-gaz-et-la-temperature/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/relation-entre-la-solubilite-des-gaz-et-la-temperature/)

## 059 — Vitesse de réaction et enthalpie

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Reaction kinetics                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                     |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 1 – Energy cycles                     |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-4; HS-PS1-5 · SEP 3, SEP 6 · CCC 5, CCC 7 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-6                                         |
| <b>Summary</b>             | Calorimetry and reaction enthalpy                |



### APERÇU

La calorimétrie est la méthode par laquelle le contenu énergétique de n'importe quoi est mesuré — le chiffre des calories sur une étiquette alimentaire, le pouvoir calorifique d'un combustible, la chaleur résiduelle dégagée par une batterie pendant sa charge, la chaleur libérée lors du durcissement du béton dans le mur d'un barrage. La méthode ne change jamais : on fait se dérouler le processus à l'intérieur d'un récipient isolé dont la capacité thermique est connue, et l'on mesure la variation de température de ce qui se trouve à l'intérieur. Ici, le processus est la réaction du magnésium métallique avec l'acide chlorhydrique,  $\text{Mg(s)} + 2 \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{MgCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ , qui est l'une des réactions les plus fortement exothermiques réalisables à l'échelle scolaire.

L'énergie stockée dans la liaison métallique du magnésium et dans les protons hydratés de l'acide est libérée au fur et à mesure que la réaction progresse, et comme un calorimètre ne perd que très peu de chaleur vers la pièce, la quasi-totalité de cette énergie se manifeste par une élévation de la température du liquide. La mesure de l'ampleur de cette élévation donne l'enthalpie de la réaction. Comme la température est enregistrée en continu plutôt que lue une seule fois à la fin, la même expérience répond simultanément à une seconde question : la vitesse de la réaction, que l'on déduit de la raideur de la pente de montée de la température et du moment où elle se stabilise. Les deux réponses sont liées, car la chaleur libérée par la réaction réchauffe le mélange et un mélange plus chaud réagit plus vite. Dans ce laboratoire, vous mesurerez 100 mL d'acide chlorhydrique dans le calorimètre et enregistrerez sa température, pèserez environ 0,2 g de poudre de magnésium et l'ajouterez, fermerez le couvercle, lancerez l'agitateur et le chronomètre, et suivrez l'évolution de la température sur le graphique de la tablette jusqu'à ce qu'elle cesse d'augmenter.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec le banc de calorimétrie
- Utilisation de la balance et d'une coupelle de pesée
- Fonctionnement du calorimètre
- Suivre une réaction en temps réel
- Calcul d'enthalpie
- Vitesse de réaction
- Évaluation critique de la mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/vitesse-de-reaction-et-enthalpie/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/vitesse-de-reaction-et-enthalpie/)

## 060 — Vitesse de réaction entre les molécules

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.2 – Rate of reaction |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 2, SEP 4 · CCC 2   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                          |
| <b>Summary</b>             | Comparing a metal with its oxide  |



### APERÇU

Deux substances, un acide, un calorimètre et une question qu'une seule expérience ne peut pas résoudre : quelle quantité d'énergie est libérée lorsque le magnésium brûle dans l'oxygène ? Le magnésium brûle beaucoup trop violemment et beaucoup trop intensément pour être mesuré directement dans un calorimètre scolaire, et on ne peut pas le persuader de réagir lentement dans un béquet d'eau. La solution au problème est le truc classique de la thermochimie — mesurer deux réactions qui boîtent être exécutées en toute sécurité, puis de les combiner arithmétiquement pour obtenir celle qui ne le peut pas. C'est la loi de Hess : l'enthalpie étant une fonction d'état, la variation d'énergie entre deux états ne dépend pas de la voie empruntée entre eux, de sorte qu'une réaction impossible à mesurer peut être assemblée à partir de réactions faciles.

Les deux réactions faciles sont celles réalisées ici. Le magnésium métallique se dissout dans l'acide chlorhydrique, produisant de l'hydrogène et une solution de chlorure de magnésium ; l'oxyde de magnésium se dissout dans le même acide, produisant la même solution et de l'eau au lieu de l'hydrogène. Toutes deux sont exothermiques, toutes deux vont à terme en quelques minutes, et toutes deux sont sûres dans un récipient fermé avec de l'acide dilué. En soustrayant l'une de l'autre, et en ajoutant l'enthalpie de formation connue de l'eau liquide, il reste exactement la combustion du magnésium. Dans ce laboratoire, vous exécuterez les deux réactions tour à tour dans le même calorimètre avec 100 mL d'acide chlorhydrique à 1 mol/L, enregistrez la température avant et après chacune, et suivez les deux sur le même graphique température en fonction du temps — ce qui rend également visible le deuxième point du laboratoire, à savoir que deux réactions entre les mêmes éléments peuvent libérer des quantités d'énergie très différentes à des vitesses très différentes.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec le banc de calorimétrie
- Effectuer une mesure répétée proprement
- Deux réactions du même métal
- Mesure calorimétrique
- Loi de Hess
- Comparaison des taux ainsi que des énergies
- Évaluation critique du résultat

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/vitesse-de-reaction-entre-des-molecules/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/vitesse-de-reaction-entre-des-molecules/)

# 061 — L'influence de la surface de contact sur la vitesse de réaction 1

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.2 – Rate of reaction |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 3, SEP 4 · CCC 2   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                          |
| <b>Summary</b>             | Surface area and reaction rate    |



## APERÇU

Le broyage d'un solide est l'un des plus anciens moyens d'accélérer une réaction lente. Les comprimés pharmaceutiques sont broyés à une granulométrie contrôlée afin de se dissoudre à une vitesse prévisible, le ciment est moulu à une finesse spécifiée car c'est ce qui détermine la vitesse de prise du béton, et une centrale électrique brûle du charbon pulvérisé en quelques secondes là où un morceau du même charbon se consumerait pendant des heures. Dans aucun de ces cas la chimie n'a été modifiée. Ce qui a changé, c'est la surface sur laquelle la réaction peut se produire.

Une réaction entre un solide et une solution ne peut avoir lieu qu'aux points de contact entre les deux phases, de sorte que sa vitesse est proportionnelle à la surface de cette interface. Diviser une masse fixe de métal en morceaux plus petits laisse la masse, le nombre de moles et l'énergie totale disponible pour la libération exactement tels qu'ils étaient, mais multiplie la surface par laquelle l'acide peut arriver. La surface de contact modifie donc la vitesse d'une réaction sans changer son avancement ni la quantité de chaleur qu'elle dégage, et maintenir ces deux notions distinctes est le principal travail intellectuel de ce laboratoire.

Dans ce laboratoire, vous réaliserez une même réaction deux fois en y modifiant un seul paramètre. Pour les deux parties, on place 0,60 g de magnésium dans 100 mL d'acide chlorhydrique à 1 mol/L dans un calorimètre fermé, équipé d'un agitateur et d'un thermomètre numérique ; la partie 1 utilise de la poudre de magnésium et la partie 2 une masse égale de ruban de magnésium. Pour chaque essai, vous notez la température initiale, suivez l'évolution de la température en fonction du temps sur le graphique de la tablette, relevez la température maximale et chronométrez la durée de la réaction. Les deux essais contenant le même nombre de moles de magnésium, ils sont censés dégager la même quantité de chaleur ; ce que l'on vous demande de comparer, c'est la vitesse à laquelle cette chaleur apparaît.

## OBJECTIFS

- Superficie et vitesse de réaction
- Lecture d'une courbe température-temps
- Séparer le taux de l'énergie
- Calorimétrie quantitative
- Comparaison contrôlée et pratique de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/influence-de-la-surface-de-contact-sur-la-vitesse-de-reaction-1/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/influence-de-la-surface-de-contact-sur-la-vitesse-de-reaction-1/)



## 062 — L'influence de la surface de contact sur la vitesse de réaction 2

|                     |                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------|
| IB Programme        | Chemistry — Change, Energy                    |
| Secondary Programme | DP Chemistry                                  |
| Syllabus Reference  | Reactivity 2.2 – Rate of reaction             |
| NGSS (HS)           | HS-PS1-5 · SEP 3, SEP 4 · CCC 2               |
| NGSS (MS)           | MS-PS1-2                                      |
| Summary             | Surface area, concentration and acid strength |



### APERÇU

Le calcaire est attaqué par l'acide partout où les deux se rencontrent, et les conséquences sont visibles à des échelles allant de l'industrielle à la géologique. Les gaz de combustion sont épurés à l'aide de calcaire finement broyé, car une poudre réagit en quelques minutes là où un bloc mettrait des jours ; les sculptures en pierre des vieux bâtiments sont rongées par la pluie acidifiée à des vitesses qui dépendent du degré d'altération et de porosité de la surface ; et des réseaux de grottes entiers sont creusés dans le calcaire par des eaux souterraines ne transportant rien de plus fort que du dioxyde de carbone dissous. Dans chaque cas, la réaction est la même, et ce qui change, c'est sa vitesse.

Trois facteurs régissent cette vitesse : la surface présentée par le solide, la concentration de l'acide et la facilité avec laquelle l'acide cède ses protons. Les deux premiers agissent sur le nombre de collisions par seconde entre l'acide et le carbonate, le troisième sur le nombre de molécules d'acide présentes qui sont réellement dissociées à un instant donné. Ces trois facteurs peuvent être isolés expérimentalement en en modifiant un seul à la fois et en chronométrant la réaction, ce qui est l'objet de ce laboratoire.

Vous réaliserez quatre réactions de carbonate de calcium avec de l'acide sur une plaque chauffante agitateur et chronométrerez chacune d'elles jusqu'à la fin. L'essai A — 2,71 g de carbonate de calcium en poudre dans 100 mL d'acide chlorhydrique à 2 mol/L — sert de référence, et chacun des trois autres modifie exactement un paramètre : l'essai B remplace l'acide fort par de l'acide éthanoïque à la même concentration, l'essai C remplace la poudre par des morceaux du même matériau, et l'essai D réduit de moitié la concentration de l'acide chlorhydrique. L'acide est en large excès dans chaque essai, de sorte que les quatre vont à terme et la seule quantité qui diffère est le temps nécessaire. La comparaison de chaque essai avec A isole tour à tour l'effet de la force de l'acide, de la surface de contact et de la concentration.

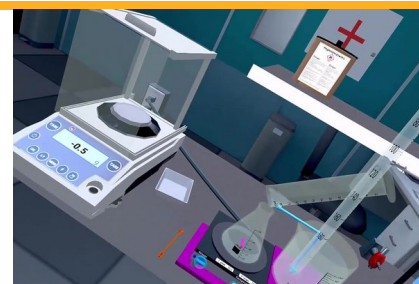
### OBJECTIFS

- Surface de contact et vitesse de réaction
- Concentration et vitesse de réaction
- Acides forts et faibles
- Conception expérimentale et mesure
- Pratique de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/influence-de-la-surface-de-contact-sur-la-vitesse-de-reaction-2/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/influence-de-la-surface-de-contact-sur-la-vitesse-de-reaction-2/)

## 063 — L'influence de la concentration sur la vitesse de réaction 1

|                            |                                          |
|----------------------------|------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy               |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.2 – Rate of reaction        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 3, SEP 4 · CCC 2          |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                 |
| <b>Summary</b>             | Concentration and rate of gas production |



### APERÇU

Récupérer le gaz dégagé par une réaction est l'une des plus anciennes méthodes pour suivre son avancement, et reste l'une des plus directes : chaque millilitre qui apparaît dans la burette représente un nombre connu de molécules, si bien qu'un tube gradué et un chronomètre suffisent à transformer une transformation chimique en courbe. La même mesure est utilisée à l'échelle industrielle partout où un gaz est le produit ou le sous-produit d'un procédé — production d'hydrogène, fermentation, digestion anaérobie de la biomasse, prise du béton — et dans le laboratoire d'analyse, c'est ainsi que l'on détermine la teneur en carbonates et l'efficacité d'un comprimé effervescent.

La vitesse d'une réaction entre un solide et un réactif dissous est déterminée à la surface où les deux se rencontrent. Les molécules dissoutes arrivent à cette surface à une fréquence proportionnelle à leur nombre par unité de volume, de sorte que doubler la concentration de l'acide double approximativement le nombre de rencontres productives chaque seconde. La concentration modifie donc la vitesse à laquelle la réaction se déroule, mais pas son ampleur : la quantité de produit est déterminée par le réactif qui s'épuise en premier, qui ici est toujours le magnésium.

Dans ce laboratoire, vous construirez une burette à gaz remplie d'eau et inversée au-dessus d'un becher, vous ferez réagir environ 0,2 g de poudre de magnésium avec 150 mL d'acide chlorhydrique dans un erlenmeyer agité, et vous lirez le volume d'hydrogène recueilli toutes les dix secondes. L'essai est répété à trois concentrations d'acide — 0,3, 0,2 et 0,5 mol/L — avec une masse de magnésium maintenue constante, de sorte que la seule variable soit la force de l'acide. La comparaison des trois courbes sépare les deux questions qu'une expérience de cinétique doit toujours maintenir distinctes : la vitesse de la réaction et la quantité qu'elle produit.

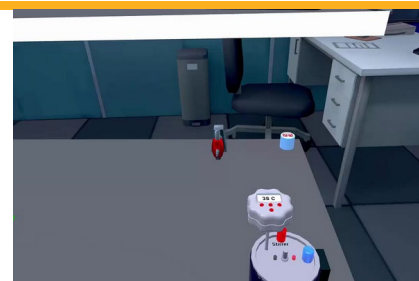
### OBJECTIFS

- Montage et fonctionnement d'un appareil de collecte de gaz
- La stœchiométrie et les lois des gaz
- Cinétique chimique
- Mesure quantitative et représentation graphique
- Interprétation des données
- Sécurité et gestion des déchets

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/linfluence-de-la-concentration-sur-la-vitesse-de-reaction-1/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/linfluence-de-la-concentration-sur-la-vitesse-de-reaction-1/)

## 064 — L'influence de la concentration sur la vitesse de réaction 2

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Change, Energy        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 2.2 – Rate of reaction |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-5 · SEP 3, SEP 4 · CCC 2   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                          |
| <b>Summary</b>             | Concentration and reaction rate   |



### APERÇU

Une réaction qui dégage de la chaleur annonce sa propre progression. Si le récipient est suffisamment bien isolé pour que la chaleur reste là où elle est produite, la température du contenu s'élève au rythme de la quantité de réaction qui s'est produite, de sorte qu'un thermomètre devient à la fois une horloge et un étalon : la hauteur de l'élévation indique la quantité ayant réagi, la raideur de sa pente indique la vitesse. Les ingénieurs chimistes utilisent exactement cette lecture pour contrôler les réacteurs industriels, où un emballement est détecté comme une température qui grimpe plus vite que le refroidissement ne peut l'évacuer, et c'est par ce type de calorimétrie que l'on certifie la teneur énergétique d'un combustible ou d'un aliment.

Deux choses distinctes sont lues à partir de la même trace, et les garder séparées est l'objectif du laboratoire. Comment loin une réaction est limitée par le réactif qui s'épuise le premier, et ici c'est toujours le magnésium : la même masse de métal libère la même quantité de chaleur, donc la température finale est la même quel que soit l'acide. Comment rapide Elle se déroule à la surface du métal, où les ions hydronium dissous arrivent à un taux proportionnel au nombre d'entre eux présents dans chaque millilitre de solution. Doublez la concentration et la réaction devrait se terminer en environ la moitié du temps, tout en atteignant la même température qu'elle aurait de toute façon atteinte.

Dans ce laboratoire, vous allez faire réagir environ 0,4 g de poudre de magnésium avec 100 mL d'acide chlorhydrique dans un calorimètre agité, suivre la température sur le graphique de la tablette, et enregistrer à la fois l'élévation totale et le temps que met la réaction à se terminer. L'essai est ensuite répété avec de l'acide d'une concentration double. Comme seule la concentration change entre les deux essais, la paire de durées suffit pour mesurer dans quelle mesure la vitesse dépend de la concentration — l'ordre de la réaction — plutôt que de simplement observer qu'elle le fait.

### OBJECTIFS

- Fonctionnement d'un calorimètre
- Thermochimie
- Stœchiométrie et réactif limitant
- Cinétique chimique
- Mesure et interprétation des données
- Sécurité et gestion des déchets

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/linfluence-de-la-concentration-sur-la-vitesse-de-reaction-2/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/linfluence-de-la-concentration-sur-la-vitesse-de-reaction-2/)

## 065 — Loi de Hess

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy, change                |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                              |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 1.2 – Energy cycles            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-4 · SEP 5, SEP 6 · CCC 5           |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-6                                  |
| <b>Summary</b>             | Thermodynamics and enthalpy relationships |



### APERÇU

La calorimétrie est la façon dont la chimie attribue une valeur numérique à la chaleur. Un récipient est isolé de telle sorte que l'énergie qu'un processus libère ou absorbe reste dans son contenu, la température de ce contenu est lue avant et après, et l'énergie découle de la masse, de la capacité thermique massique et de la variation de température. Les chiffres ainsi obtenus sont ceux qu'un ingénieur des procédés utilise pour dimensionner une chemise de refroidissement, qu'un laboratoire agroalimentaire indique comme nombre de calories, et qu'une usine de chaux ou de ciment utilise pour budgétiser le combustible nécessaire pour chasser le dioxyde de carbone du calcaire.

La mesure vaut la peine d'être faite parce que l'enthalpie est une fonction d'état : la chaleur échangée lors du passage d'un ensemble de substances à un autre ne dépend que de la nature de ces substances, et non du chemin emprunté pour aller de l'un à l'autre. C'est la loi de Hess. Cela signifie qu'une réaction trop lente, trop violente ou trop impure pour être mesurée directement peut tout de même être obtenue en additionnant les enthalpies de n'importe quelle séquence d'étapes qui commence et finit au bon endroit. Cela signifie également qu'une chaleur mesurée ne dit rien en soi — elle doit être divisée par la quantité de substance responsable, de sorte que tout résultat calorimétrique commence par un compte de moles et un réactif limitant.

Dans ce laboratoire, vous exécuterez cinq processus dans le même calorimètre et enregistrerez la température avant et après chacun d'eux. Deux sont physiques : le mélange de l'éthanol avec l'eau, et la dissolution du chlorure d'ammonium dans l'eau. Ils échangent de la chaleur dans des directions opposées. L'un est un témoin dans lequel rien de mesurable ne se produit. Les deux autres sont chimiques : le carbonate de calcium attaqué par l'acide chlorhydrique, et l'acide chlorhydrique neutralisé par l'hydroxyde de sodium. Vous convertirez chaque variation de température en une enthalpie par mole, comparerez les cinq entre elles, puis utiliserez la loi de Hess pour montrer que la plus petite des cinq est la petite différence entre deux nombres beaucoup plus grand.

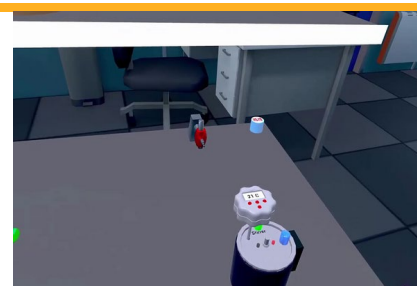
### OBJECTIFS

- Technique calorimétrique
- Mesure d'une quantité de substance
- Convertir un changement de température en enthalpie
- Distinguer les effets thermiques physiques des effets chimiques
- Application de la loi de Hess
- Lecture d'une expérience témoin
- Évaluer dans quelle mesure un résultat calorimétrique est fiable

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/loi-de-hess/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/loi-de-hess/)

## 066 — Réactions endothermiques et exothermiques

|                            |                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy Transfer                         |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics                           |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 1.2 – Energy cycles / B.4 Thermodynamics |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-4 · SEP 3, SEP 6 · CCC 5                     |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-6                                            |
| <b>Summary</b>             | Observing heat exchange in reactions                |



### APERÇU

Les compresses chaudes instantanées et les compresses froides instantanées sont le même objet doté d'un remplissage différent. Pressez-en une et un sachet éclate, un solide rencontre de l'eau, et en quelques secondes la compresse est soit inconfortablement chaude, soit assez froide pour être appliquée sur une entorse — sans radiateur, sans réfrigérant et sans aucune pièce mobile. La même physique détermine si une coulée de ciment doit être refroidie, si un sac d'engrais peut être stocké à côté de n'importe quoi, et pourquoi une bombe de bain donne une sensation de fraîcheur lorsqu'elle effervesce. Chacun de ces processus a un bilan énergétique qui ne s'équilibre pas à la température de départ, de sorte que la différence est prélevée sur l'environnement, ou lui est reversée.

Les chimistes qualifient ces deux directions d'endothermique et d'exothermique, et ces termes s'appliquent au système, et non au thermomètre : un processus exothermique libère de l'énergie, de sorte que le milieu environnant se réchauffe et que la lecture augmente. L'énergie elle-même provient des liaisons et des forces entre les particules. Dissocier un réseau ionique ou rompre une covalence demande de l'énergie ; hydrater les ions libérés ou former une nouvelle liaison en restitue. C'est la plus grande des deux valeurs qui détermine le signe, et comme ces deux valeurs sont généralement de grands nombres de tailles comparables, le résultat mesuré correspond à une faible différence entre elles — c'est pourquoi il doit être mesuré plutôt que deviné.

Dans ce laboratoire, vous mènerez deux expériences dans le même calorimètre, l'une de signe positif et l'autre de signe négatif, leur association ayant été choisie pour remettre en cause une idée reçue. La première consiste à dissoudre de l'hydroxyde de sodium dans l'eau : aucune réaction ne se produit, aucune nouvelle substance n'est formée et la température augmente de plus de dix degrés. Le second consiste en l'attaque du bicarbonate de sodium par l'acide citrique : une véritable réaction chimique qui s'accompagne d'une effervescence visible, donne naissance à trois nouvelles substances et entraîne une baisse de température. Vous noterez la température avant et après chaque réaction, classerez chaque processus selon son signe et convertirez chaque variation de température en énergie par mole. La conclusion à retenir est que les notions de “ réaction ” et de “ dégagement de chaleur ” sont des faits indépendants liés à un processus, et que seule une mesure permet de déterminer le sens d'une réaction donnée.

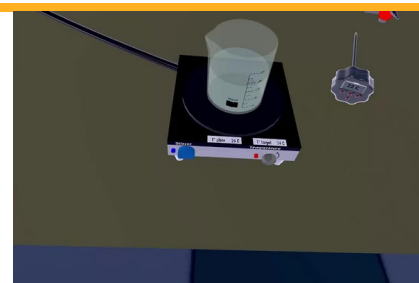
### OBJECTIFS

- Classification d'un processus selon son signe
- Technique calorimétrique
- Mesure d'une quantité de substance
- Convertir une variation de température en énergie
- Distinguer les transformations chimiques des transformations physiques
- Manipulation de réactifs corrosifs

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/endothermie-exothermie/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/endothermie-exothermie/)

## 067 — Capacité thermique massique

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy, transformation |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | B.4 Thermodynamics               |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-4 · SEP 5 · CCC 5, CCC 7  |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3; MS-PS3-4               |
| <b>Summary</b>             | Heat transfer investigation      |



### APERÇU

Chaque substance demande un prix différent pour un degré de température. Versez des volumes égaux d'eau et d'huile de cuisson dans des casseroles identiques sur des brûleurs identiques et l'huile fume alors que l'eau est encore tout juste tiède ; la mer en septembre est plus chaude que la terre qui la borde bien qu'elles aient reçu le même ensoleillement. La grandeur qui sous-tend tout cela est la capacité thermique massique, l'énergie nécessaire pour élever un gramme d'une substance d'un degré, et c'est l'un des chiffres les plus importants en ingénierie. C'est elle qui détermine avec quoi on remplit le radiateur d'une voiture, de combien de béton un accumulateur thermique a besoin, pourquoi les hivers côtiers sont doux, et pourquoi l'eau est le fluide frigorigène de choix partout où elle peut être utilisée.

La façon de le mesurer est de laisser deux corps à des températures différentes atteindre l'équilibre et de voir où se situe la température commune. L'énergie est conservée, de sorte que tout ce que la substance chaude cède, la froide le prend :  $m_1c_1(T_f - T_1) + m_2c_2(T_f - T_2) = 0$ . Réorganisée, cette équation indique que la température finale est la moyenne des deux températures initiales pondérée par la capacité thermique de chaque substance — de sorte que le point d'équilibre se situe plus près de la substance qui a la plus grande capacité à retenir la chaleur. Mesurez les trois températures et chaque quantité de l'équation est connue, à l'exception de celle que vous recherchez.

Dans ce laboratoire, vous mélangerez 50 mL d'eau chaude, chauffée à environ 80 °C, avec 50 mL d'un liquide froid dans un calorimètre, à deux reprises : d'abord avec de l'eau froide, puis avec de l'éthanol froid. Le mélange eau-eau est le témoin, et son résultat peut être prédit sans connaître aucune capacité thermique. Le mélange avec l'éthanol ne le peut pas, et il finit nettement plus chaud que le témoin — pour deux raisons distinctes que ce laboratoire vous permet de séparer et de mesurer une à une. Vous prédiriez les deux températures d'équilibre à partir du bilan énergétique, les comparerez à celles rapportées par le calorimètre, et rendrez compte de la différence.

### OBJECTIFS

- Le bilan énergétique comme outil de travail
- Capacité thermique massique et molaire
- Technique calorimétrique
- En utilisant une expérience témoin
- Séparer deux effets qui poussent dans le même sens
- Manipulation d'un liquide inflammable volatil et d'eau chaude

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/capacite-thermique-specifique-067/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/capacite-thermique-specifique-067/)

## 070 — L'aspect qualitatif de l'équilibre chimique

|                     |                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| IB Programme        | Chemistry — Equilibrium systems                     |
| Secondary Programme | DP Chemistry                                        |
| Syllabus Reference  | Reactivity 2.3 – Extent of reaction                 |
| NGSS (HS)           | HS-PS1-6 · SEP 2, SEP 6 · CCC 7                     |
| NGSS (MS)           | —                                                   |
| Summary             | Solubility equilibrium and Le Châtelier's principle |



### APERÇU

L'équilibre de solubilité est la raison pour laquelle un sel peut être qualifié “ d'insoluble ” tout en étant présent en solution. Le sulfate de calcium est l'exemple industriel type : c'est le tartre qui se forme dans les chaudières, les tours de refroidissement, les usines de dessalement et les tubages de puits de pétrole, c'est le gypse du plâtre et des cloisons sèches, et c'est ce qui détermine la teneur en sulfates de l'eau de puits. Les chimistes du traitement de l'eau décident où il se déposera et où il se redissoudra à partir d'un seul chiffre : son produit de solubilité.

Lorsqu'un sel peu soluble est en contact avec une solution de ses propres ions, deux processus se déroulent en même temps : les ions quittent la surface du solide et les ions du liquide y retournent. L'équilibre est atteint lorsque les deux vitesses deviennent égales, et non lorsque l'un ou l'autre s'arrête. Pour le sulfate de calcium, la condition est  $[Ca^{2+}][SO_4^{2-}] = K_{sp} = 4,9 \times 10^{-5}$  à 25 °C. Une solution dont le produit ionique dépasse cette valeur dépose du solide jusqu'à ce que ce ne soit plus le cas ; une solution en deçà dissout du solide jusqu'à l'atteindre. L'ajout d'un ion ou de l'autre ne modifie donc pas  $K_{sp}$  — il déplace la position de l'équilibre, et l'excédent apparaît sous forme solide.

Dans ce laboratoire, vous approcherez le même équilibre des deux côtés. D'abord du côté des ions : le mélange de chlorure de calcium et de sulfate de sodium, tous deux à 0,10 M, donne un précipité blanc immédiat, et l'ajout de l'un ou l'autre des réactifs aux tubes décantés provoque une précipitation supplémentaire. Ensuite du côté du solide : du sulfate de calcium solide est agité dans une solution concentrée de chlorure de sodium, et le liquide clair surnageant — dans lequel rien ne semble s'être produit du tout — est testé avec chaque réactif à tour de rôle. Les deux tests donnent un précipité, ce qui prouve que le solide “ insoluble ” a libéré des ions dans la solution tout le temps.

### OBJECTIFS

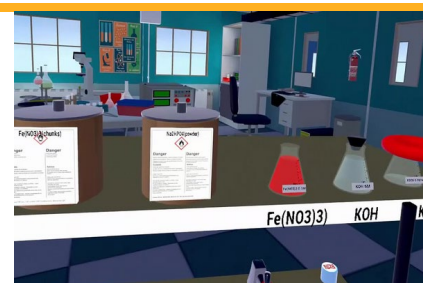
- L'équilibre chimique comme état dynamique
- Équilibres de solubilité et produit de solubilité
- Le principe de Le Chatelier et l'effet d'ion commun
- Réactions complètes et réactions incomplètes
- L'analyse qualitative et la logique d'un test ponctuel
- Technique de laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/laspect-qualitatif-de-lequilibre-chimique/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/laspect-qualitatif-de-lequilibre-chimique/)



## 071 — Principe de Le Châtelier

|                            |                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Energy & Systems                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry                                    |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.2 – Electron transfer reactions    |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-6 · SEP 3, SEP 7 · CCC 2, CCC 7          |
| <b>NGSS (MS)</b>           | —                                               |
| <b>Summary</b>             | Le Chatelier's Principle and equilibrium shifts |



### APERÇU

Le principe de Le Châtelier est la règle qui permet à un ingénieur chimiste d'extraire davantage de produit d'une réaction qui refuse d'aller à son terme. C'est la raison pour laquelle l'ammoniac est synthétisé sous pression, pourquoi un haut fourneau fonctionne avec un excès de monoxyde de carbone, et pourquoi l'oxygène capté par votre sang dans les poumons est libéré à nouveau dans les muscles en activité. Le système utilisé pour l'enseigner dans presque tous les laboratoires du monde est celui qui se trouve sur cette bench : le fer(III) et le thiocyanate, qui se combinent pour donner un complexe d'une couleur si intense qu'un changement de concentration peut être lu à l'œil nu, sans aucun instrument.

La réaction est  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{FeSCN}]^{2+}(\text{aq})$ , et le rouge sang foncé appartient entièrement au complexe de droite ; les deux réactifs sont presque incolores à ces concentrations. À l'équilibre, les concentrations satisfont  $K_f = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^{-}]} \approx 1,4 \times 10^2$  à 25 °C. Perturbez le mélange — ajoutez l'un des réactifs, retirez-en un, réchauffez-le ou refroidissez-le — et le quotient réactionnel  $Q$  n'est plus égal à  $K_f$  ; le système réagit en consommant ou en libérant le complexe jusqu'à ce qu'il y parvienne. C'est le principe de Le Châtelier énoncé avec précision : non pas qu'un système “ s'oppose ” à un changement, mais qu'il se déplace dans la direction qui ramène  $Q$  à  $K$ .

Dans ce travail pratique, vous préparerez un mélange à l'équilibre et le diviserez en huit portions identiques, en conservant la première comme référence pour comparer les autres. Vous allez ensuite soumettre sept de ces portions à six traitements différents : ajout de thiocyanate, ajout de fer, les deux à la fois, ajout d'hydroxyde pour précipiter le fer hors du système, ajout d'hydrogénophosphate pour le fixer, un bain de glace et un bain-marie à 80 °C. Chaque tube est comparé au tube 1 devant une carte noire, et la direction dans laquelle chacun évolue — plus foncé vers le complexe, plus clair vers les ions libres — constitue le résultat complet.

### OBJECTIFS

- Le principe de Le Chatelier, énoncé et appliqué
- Les équilibres de complexation et la couleur comme indicateur
- Ajouter une espèce et en supprimer une
- La température en tant que facteur de stress
- Comparaison qualitative contrôlée
- Technique et sécurité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/le-principe-de-le-chatelier/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/le-principe-de-le-chatelier/)



## 072 — Électrolyse de l'eau

|                            |                                                          |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Chemistry — Transformation of Energy                     |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics                                |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Reactivity 3.2 – Electron transfer / D.2 Electric fields |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2; HS-PS3-1 · SEP 3, SEP 6 · CCC 5                |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                                 |
| <b>Summary</b>             | Decomposition of water into hydrogen and oxygen          |



### APERÇU

L'électrolyse est la méthode par laquelle l'industrie produit les substances que l'on ne peut pas extraire du sol. L'aluminium est extrait de son oxyde dans une cuve d'électrolyse, le chlore et l'hydroxyde de sodium sont produits par électrolyse de la saumure, et chaque surface chromée ou galvanisée est une électrode qui a autrefois fait partie d'un circuit. La version présente dans ce laboratoire — qui consiste à séparer l'eau en hydrogène et en oxygène — est également celle qui a le plus grand avenir : c'est la voie par laquelle l'électricité excédentaire issue de l'éolien et du solaire est stockée sous forme d'hydrogène, et c'est la même réaction qu'une pile à combustible fait fonctionner à l'envers pour libérer à nouveau cette énergie.

L'eau est stable, et c'est là toute la difficulté. Son énergie libre de formation est de  $-237$  kJ par mole, ce qui fait que la dissocier coûte au moins ce travail, fourni ici sous forme d'énergie électrique. Une cellule électrolytique y parvient en répartissant la tâche entre deux électrodes : à la négative, les ions hydrogène acceptent des électrons et s'échappent sous forme de gaz hydrogène ; à la positive, les molécules d'eau cèdent des électrons et s'échappent sous forme d'oxygène. Deux conditions doivent être remplies pour que quoi que ce soit se produise. La solution doit être conductrice, ce que l'eau pure n'est presque pas, un électrolyte est donc ajouté ; et la tension appliquée doit dépasser le minimum thermodynamique de  $1,23$  V. Le choix de l'électrolyte s'avère aussi important que sa quantité : le mauvais électrolyte est oxydé à la place de l'eau et la cellule produit un gaz complètement différent.

Dans ce laboratoire, vous construirez vous-même la cellule : deux tubes à essai remplis d'eau et inversés sur deux électrodes dans un bécher d'un litre, reliés à une alimentation en courant continu. De l'acide sulfurique est ajouté pour rendre l'eau conductrice, le courant est maintenu pendant environ une minute, et le gaz qui s'accumule dans chaque tube déplace l'eau au-dessus de lui afin que les deux volumes puissent être comparés directement. Chaque tube est ensuite identifié par le test classique — une braise incandescente pour l'oxygène, une allumette enflammée pour l'hydrogène — et le résultat devrait être que le tube sur l'électrode négative a recueilli deux fois plus de gaz que l'autre, et que les deux gaz se comportent de manière opposée.

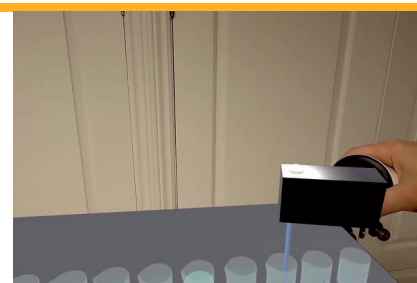
### OBJECTIFS

- Le principe de l'électrolyse
- Oxydation et réduction aux électrodes nommées
- La stœchiométrie rendue visible
- Le choix de l'électrolyte
- Identification des produits
- Assemblage et sécurité

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/electrolyse-de-leau/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/electrolyse-de-leau/)

## 073 — Conductivité

|                            |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy & Systems                           |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Chemistry / DP Physics                            |
| <b>Syllabus Reference</b>  | Structure 2.4 – Bonding and materials / B.5 Circuits |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS1-2; HS-PS3-3 · SEP 4 · CCC 2                   |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS1-2                                             |
| <b>Summary</b>             | Conductivity of solutions and electrolytes           |



### APERÇU

La conductivité électrique est la mesure la plus rapide effectuée dans tout laboratoire d'analyse de l'eau. Une usine de production d'eau potable, une unité de dialyse, une serre hydroponique et une ligne d'alimentation de chaudière la surveillent toutes en continu, car un seul chiffre indique à un opérateur la quantité de matière ionique dissoute contenue dans un liquide, en temps réel et sans détruire l'échantillon. Cette même mesure correspond à ce qu'une sonde de sol rapporte comme étant la salinité, à ce qu'un régulateur de piscine utilise pour décider de la quantité de sel à ajouter, et à ce qu'un laboratoire clinique utilise pour vérifier qu'une poche de solution saline correspond bien à ce qu'indique son étiquette.

Un liquide ne conduit un courant électrique que s'il contient des particules chargées libres de s'y déplacer. L'eau elle-même n'en contient presque pas, l'eau pure est donc un mauvais conducteur ; ce qui importe, c'est de savoir si la substance dissoute libère des ions dans la solution. Un solide ionique tel que le chlorure de sodium est déjà constitué d'ions et a seulement besoin que son réseau soit disloqué par hydratation. Une molécule polaire telle que le chlorure d'hydrogène ne contient aucun ion jusqu'à ce que l'eau lui arrache un proton, et l'étendue de ce transfert de proton est déterminée par la constante d'acidité. Une molécule telle que le saccharose n'a ni réseau à briser ni proton à donner : elle se dissout à merveille et ne libère rien. Dissoudre et dissocier sont deux processus différents, et la conductivité est la propriété qui permet de les distinguer.

Dans ce laboratoire, vous testerez douze liquides à l'aide d'un détecteur de conductivité électrique — une paire d'électrodes câblées en série avec un voyant lumineux — et enregistrez la luminosité de la lampe pour chacun d'eux sur une échelle à trois niveaux. Dix des liquides sont des solutions préparées à concentration connue ; les deux autres, l'eau distillée et l'eau potable, seront mesurés par vos soins. À partir de ces douze mesures, vous trierez les substances en électrolytes forts, électrolytes faibles et non-électrolytes, puis vous expliquerez chaque groupe par le type de liaison qu'il contient.

### OBJECTIFS

- Distinguer les électrolytes des non-électrolytes
- La liaison chimique comme cause de la conduction
- Utilisation du détecteur de conductivité
- Traitement quantitatif de la conductivité
- Raccorder la mesure à ses utilisations

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/conductivite/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/conductivite/)

## 074 — Lire une résistance

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy systems          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | B.5 Circuits                      |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 8 · CCC 6          |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3                          |
| <b>Summary</b>             | Resistor color code and tolerance |



### APERÇU

Une résistance est le composant le plus nombreux en électronique : un téléphone portable en contient plusieurs centaines, et chacune doit avoir la bonne valeur. La valeur n'est pas imprimée sous forme de nombre, car les pièces sont trop petites et trop bon marché pour cela. Elle est imprimée sous la forme d'un anneau de bandes colorées, un code introduit dans les années 1920 qui est encore utilisé aujourd'hui sur les résistances traversantes, est lisible sous n'angle, résiste à la chaleur et aux solvants, et ne nécessite aucune loupe. Être capable de le lire est la première compétence pratique d'un établi d'électronique, et être capable de le vérifier avec un multimètre est la seconde.

La quantité encodée par les anneaux est définie par la loi d'Ohm,  $R = V / I$  : une résistance d'un ohm laisse passer un ampère lorsqu'une tension d'un volt est appliquée à ses bornes. Sur une résistance à quatre anneaux, les deux premiers anneaux donnent les deux chiffres significatifs de ce nombre, le troisième donne la puissance de dix par laquelle les multiplier, et le quatrième indique la tolérance — la garantie du fabricant quant à l'écart possible entre la valeur réelle et la valeur nominale. Ce quatrième anneau est le plus intéressant, car il s'agit d'un aveu : les résistances sont produites en série à partir d'un film résistif dont l'épaisseur ne peut être parfaitement contrôlée, de sorte qu'un composant n'est pas vendu comme une valeur fixe, mais comme une plage de valeurs.

Dans ce laboratoire, vous disposez de quatre résistances aux valeurs inconnues et d'un tableau de codes de couleurs sur la table. Vous décoderez chacune d'elles à partir de ses anneaux, calculerez la résistance minimale et maximale que sa tolérance autorise, puis la mesurerez avec un ohmmètre et déterminerez si le composant respecte ses spécifications. La comparaison entre les deux nombres — celui qu'affiche le fabricant et celui que rapporte l'appareil de mesure — est l'objet véritable de ce laboratoire, et elle introduit l'habitude de se demander non seulement quelle est une valeur, mais avec quelle précision elle est connue.

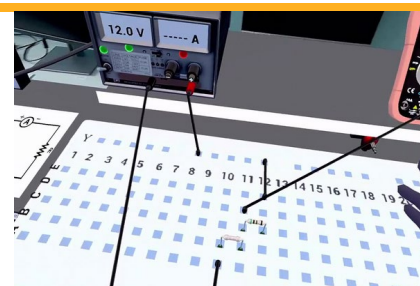
### OBJECTIFS

- Lecture du code de couleur à quatre anneaux
- Tolérance et plage de valeurs acceptables
- Utilisation d'un ohmmètre
- Reconnaître les limites de l'instrument
- Valeurs préférentielles et sélection des composants

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/lire-une-resistance/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/lire-une-resistance/)

## 075 — Assemblage de circuits électriques

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy systems        |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | B.5 Current and circuits        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 2, SEP 3 · CCC 4 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3                        |
| <b>Summary</b>             | Series circuit building         |



### APERÇU

Tout appareil électronique jamais construit commence par une boucle : une source, un conducteur et un élément qui limite le courant. Une plaque d'essai est la méthode standard pour créer cette boucle temporairement, sans soudure, afin qu'une conception puisse être testée, mesurée et modifiée en quelques minutes. C'est l'outil par lequel commence tout laboratoire d'électronique, tout banc de prototypage et tout cours universitaire, et la raison pour laquelle un produit moderne peut passer d'un croquis à un circuit fonctionnel en un après-midi.

Deux règles régissent tout ce qui est mesuré sur une telle boucle. La loi d'ohm,  $V = IR$ , met en relation le courant traversant un composant et la tension à ses bornes. La règle des mailles de Kirchhoff stipule que la somme des tensions autour de n'importe quelle boucle fermée doit être nulle — l'énergie fournie à chaque charge par l'alimentation est entièrement restituée aux composants qu'elle traverse. Ensemble, elles ont une conséquence utile : dans une boucle simple, le courant est le même partout, de sorte que les composants en série se partagent la tension d'alimentation proportionnellement à leurs résistances. Cela suffit pour trouver la valeur d'un composant dont vous ne pouvez pas lire l'inscription, en n'utilisant rien d'autre qu'un voltmètre et une résistance dont vous connaissez la valeur.

Dans ce laboratoire, vous connecterez une alimentation à une plaque d'essai (breadboard), construirez un circuit en série contenant une résistance connue et une résistance mystère dont les marquages ont été effacés, enregistrerez un schéma de votre montage, puis mesurerez une seule tension à l'aide d'un multimètre. À partir de cette unique lecture, de la tension d'alimentation et de la résistance connue, vous calculerez le courant dans le circuit, la tension aux bornes de la résistance mystère, et enfin sa valeur — un premier exercice pour obtenir une grandeur que vous ne pouvez pas mesurer directement à partir de grandeurs que vous pouvez mesurer.

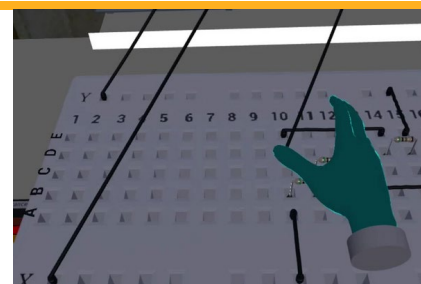
### OBJECTIFS

- Comprendre les composants et la plaque d'essai
- Construction d'un circuit en série
- Mesurer avec un multimètre
- Application de la loi d'Ohm et de la règle des mailles de Kirchhoff
- Évaluer la qualité d'un résultat
- Travaux d'enregistrement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/assemblage-de-circuit-electrique/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/assemblage-de-circuit-electrique/)

## 076 — Assemblage d'un circuit électrique en parallèle

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Systems               |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | B.5 Current and circuits        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 2, SEP 3 · CCC 4 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3                        |
| <b>Summary</b>             | Parallel circuit analysis       |



### APERÇU

Presque toute installation électrique, à l'exception d'une guirlande lumineuse, est câblée en parallèle. Les lampes d'une salle de classe, les prises le long d'un mur, les panneaux d'un champ photovoltaïque et les cellules d'un bloc-batterie sont tous connectés aux deux mêmes rails d'alimentation, de sorte que chacun reçoit la pleine tension d'alimentation et peut être allumé ou éteint sans perturber les autres. L'alternative — câbler les appareils les uns à la suite des autres dans une seule boucle, comme dans le laboratoire 075 — rend chaque appareil dépendant de tous les autres, ce qui explique pourquoi une seule ampoule grillée éteignait autrefois toute une guirlande.

La physique de cet agencement repose sur deux principes. Étant donné que chaque branche est connectée entre la même paire de points, chaque branche est soumise à la même tension. Et comme la charge ne peut pas s'accumuler à un nœud, les courants tirés par les branches doivent s'additionner pour donner le courant fourni par la source ; c'est la première loi de Kirchhoff. Sa conséquence est que les résistances en parallèle ne s'additionnent pas — ce sont leurs inverses qui s'additionnent —, de sorte qu'une association en parallèle conduit toujours mieux que n'importe laquelle de ses branches, et l'ajout d'une branche à un circuit augmente le courant que l'alimentation doit fournir.

Dans ce laboratoire, vous construirez un circuit à deux branches sur une plaque d'essai à partir d'une alimentation de 12 V et de trois résistances identiques de  $5\ \Omega$  : une branche contenant deux d'entre elles bout à bout, la seconde contenant un interrupteur et la troisième résistance. Vous utiliserez ensuite le multimètre à deux reprises — d'abord en mode tension, branché aux bornes d'un composant, puis en mode courant, inséré dans le circuit à la place de l'interrupteur — pour mesurer le courant dans une branche et le courant à la source, et vous utiliserez la première loi de Kirchhoff ainsi que la loi d'Ohm pour déterminer le courant dans la branche que vous n'avez pas mesurée et la résistance d'une résistance que vous n'avez jamais retirée.

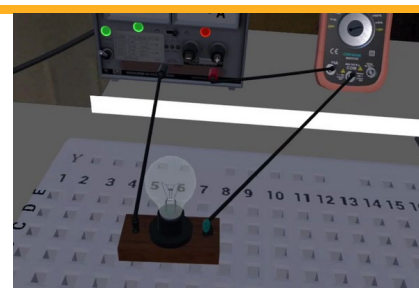
### OBJECTIFS

- Construction d'un circuit sur une plaque d'essai
- Faire la distinction entre une branche et un composant
- Utilisation du multimètre
- Application de la première loi de Kirchhoff
- Application de la loi d'Ohm et de la règle des résistances en parallèle
- Évaluer la mesure elle-même
- Enregistrement et signalement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/assemblage-de-circuit-electrique-en-parallele/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/assemblage-de-circuit-electrique-en-parallele/)

## 077 — Impact du courant sur la luminosité d'une lampe

|                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy transfer             |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                            |
| <b>Syllabus Reference</b>  | B.5 Circuits                          |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 4 · CCC 2, CCC 5       |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3                              |
| <b>Summary</b>             | Current–light intensity relationships |



### APERÇU

Une lampe à filament est l'instrument le plus simple d'un laboratoire qui transforme une grandeur électrique en quelque chose que l'œil peut lire directement. Les gradateurs de lumière, les phares faiblissants d'une voiture dont la batterie se décharge et le réglage de la luminosité sur un tableau de bord fonctionnent tous sur le même principe : modifier le courant qui traverse le filament et sa température, et par conséquent sa lumière, change en même temps. La relation mérite d'être cernée de près car elle n'est pas celle que la plupart des gens attendent — la lumière ne diminue pas de pair avec le courant, elle diminue beaucoup plus rapidement.

La raison est que le filament est chauffé par la puissance qui lui est fournie, et la puissance n'est pas proportionnelle au courant mais à son carré,  $P = I^2R$ . Dans un circuit en série, il n'y a qu'un seul chemin, de sorte que le même courant traverse chaque composant ; l'ajout d'une résistance augmente la résistance totale, et selon la loi d'Ohm  $I = V/R$ , le courant diminue partout. La lampe reçoit alors un courant plus faible et, en même temps, une part plus faible de la tension d'alimentation, et ces deux effets se multiplient. Une étape supplémentaire de même nature relie la puissance à ce que l'on observe réellement, car un filament plus froid irradie moins et émet une fraction plus faible de sa propre radiation sous forme de lumière visible.

Dans ce laboratoire, vous construirez un circuit en série ne contenant rien d'autre qu'une alimentation de 12 V et une lampe, mesurerez le courant avec un multimètre et enregistrerez la luminosité apparente de la lampe. Vous ajouterez ensuite une résistance de  $5\ \Omega$  et répéterez la mesure, en ajouterez une seconde et répéterez à nouveau, et utiliserez les trois paires de mesures pour déterminer quel type de relation relie le courant à la luminosité : constante, linéaire ou plus abrupte.

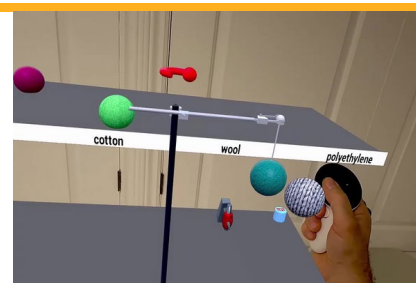
### OBJECTIFS

- Assemblage et modification d'un circuit en série
- Mesure du courant
- Application de la loi d'Ohm
- Relier la puissance à la luminosité
- Identifier une relation à partir des données
- Évaluation des limites d'une observation qualitative

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/impact-du-courant-sur-la-luminosite-dune-lampe/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/impact-du-courant-sur-la-luminosite-dune-lampe/)

## 078 — Électricité statique

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Forces                   |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                         |
| <b>Syllabus Reference</b>  | D.2 Electric fields                |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-4 · SEP 2, SEP 3 · CCC 2    |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-3                           |
| <b>Summary</b>             | Electrostatics and charge transfer |



### APERÇU

L'électricité statique est la plus ancienne branche de la discipline et reste celle que l'on rencontre en premier : un pull qui crépite lorsqu'on l'enlève, une poignée de porte qui pique après une marche sur un tapis, des cheveux qui se dressent sur la tête face à un peigne, du film étirable qui refuse de se détacher de lui-même. À l'échelle industrielle, ce même effet doit être géré plutôt qu'admiré — c'est la raison pour laquelle les camions-citernes sont reliés à la terre avant d'être remplis, pourquoi les composants électroniques sont expédiés dans des sachets conducteurs, et il est également mis à contribution de manière délibérée dans les photocopieurs, les imprimantes laser, la peinture électrostatique par poudrage et les dépoussiéreurs qui nettoient les gaz de combustion.

La physique derrière tout cela se résume à une seule phrase : lorsque deux matériaux isolants différents sont mis en contact intime puis séparés, des électrons se déplacent d'une surface à l'autre, laissant un objet avec une charge nette négative et l'autre avec une charge positive égale. Le sens du déplacement des électrons dépend uniquement de la paire de matériaux, et ces derniers peuvent être classés dans une liste — la série triboélectrique ou électrostatique — dans laquelle celui qui se trouve le plus haut cède des électrons et devient positif. Une fois chargés, les objets obéissent à la loi de Coulomb : les charges de même signe se repoussent, les charges de signes opposés s'attirent, et la force diminue en fonction du carré de la distance qui les sépare.

Dans ce laboratoire, vous suspendrez des boules légères à des tiges isolantes de manière à ce qu'elles puissent osciller librement, vous les chargerez en y approchant de la laine ou du coton, puis vous présenterez les boules chargées l'une à l'autre, deux par deux. Du polyéthylène chargé par de la laine, de l'acétate chargé par du coton, chaque matériau contre son tissu de charge et chacun contre l'autre — six confrontations au total, consignées dans un tableau de résultats. À partir du profil des attractions et des repulsions, vous déterminerez le signe que prend chaque matériau et reconstituerez la partie de la série électrostatique qui régit ces quatre substances.

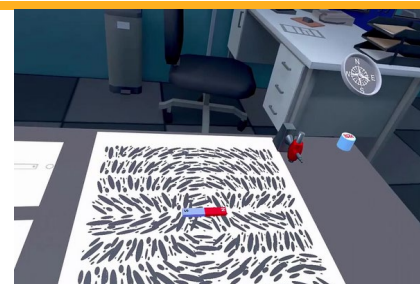
### OBJECTIFS

- Charger un objet et savoir que vous l'avez
- Interpréter correctement l'attraction et la répulsion
- En utilisant la série électrostatique
- Application de la loi de Coulomb
- Observer et documenter systématiquement

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/electricite-statique/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/electricite-statique/)

## 079 — Champs magnétiques

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Forces                       |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | D.2 Magnetic fields                    |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-5 · SEP 2, SEP 3 · CCC 2, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-3; MS-PS2-5                     |
| <b>Summary</b>             | Magnetic field mapping and compass use |



### APERÇU

L'influence d'un aimant s'étend dans l'espace qui l'environne, et cet espace peut être cartographié. Chaque aiguille de boussole qui a jamais pointé vers le nord a lu une telle carte, tracée dans ce cas par la Terre elle-même, dont le noyau de fer fondu fait de la planète un aimant droit gigantesque et légèrement tordu. Cette même cartographie sous-tend la tête de lecture d'un disque dur, le haut-parleur d'un téléphone, la déflexion de particules chargées dans un scanner médical et le fermoir magnétique d'un sac. Ce qui rend le champ difficile à enseigner, c'est qu'il est invisible, et ce qui fait fonctionner ce laboratoire, c'est que de la limaille de fer et une boussole, ensemble, le rendent visible.

Un champ magnétique a une direction en tout point, et la convention est de tracer des lignes dont la tangente donne cette direction et dont la concentration indique l'intensité. À l'extérieur d'un aimant, les lignes vont du pôle nord au pôle sud ; à l'intérieur de l'aimant, elles continuent du sud vers le nord, de sorte que chaque ligne se referme sur elle-même. Il n'y a pas d'extrémités libres, car le pôle magnétique isolé n'existe pas : cassez un aimant droit en deux et vous obtenez deux aimants droits plus petits, jamais un pôle nord tout seul. Deux lignes ne peuvent jamais se croiser, car le champ ne peut pas avoir deux directions en un même endroit. Lorsque l'on rapproche deux aimants, leurs champs ne se contentent pas de se chevaucher : ils s'additionnent comme des vecteurs, et le résultat peut inclure des points où les deux contributions s'annulent exactement.

Dans ce laboratoire, vous poserez un aimant sur une feuille parsemée de limaille de fer et observerez la limaille s'organiser le long des lignes de champ, puis placerez une boussole à des positions marquées autour de l'aimant et photographierez son orientation à chacune d'elles. Vous répéterez le cartographiage avec deux aimants selon trois autres agencements — des pôles de même nom se faisant face dans les montages B et C, des pôles de noms opposés dans le montage D — et utiliserez les photographies pour décrire comment deux champs se combinent, où le champ est le plus fort, et où, entre deux pôles de même nom, il s'annule complètement.

### OBJECTIFS

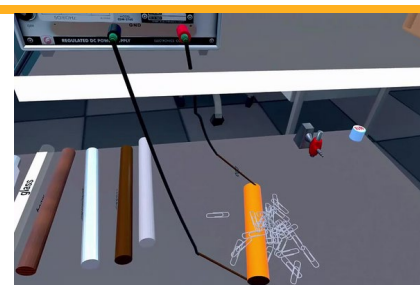
- Lecture d'une carte de terrain
- Utiliser la boussole comme instrument
- Combinaison de deux champs
- Distinction des pôles
- Enregistrement et comparaison

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/champs-magnetiques/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/champs-magnetiques/)



## 080 — Électroaimants

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Systems & Energy                       |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | D.4 – Induction                                  |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-5; HS-PS3-5 · SEP 2, SEP 3 · CCC 4, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-3                                         |
| <b>Summary</b>             | Magnetic field and current relationship          |



### APERÇU

Un solénoïde est une bobine de fil qui devient un aimant lorsqu'un courant la traverse, et cesse de l'être dès que le courant s'arrête. Cette seule propriété — un aimant muni d'un interrupteur — est ce qui rend l'électromagnétisme utile. C'est ainsi qu'une grue de casse soulève une voiture et la lâche, que le démarreur d'un moteur projette son pignon vers l'avant, qu'une serrure de porte se déverrouille lorsqu'on présente une carte, qu'une membrane de haut-parleur est entraînée, qu'un relais permet à un petit courant d'en commander un grand et, bobiné avec du fil supraconducteur et refroidi à l'hélium liquide, que le champ de plusieurs teslas d'un appareil d'imagerie par résonance magnétique est produit.

Le champ à l'intérieur d'une longue bobine est uniforme et orienté le long de l'axe, et son intensité est  $B = \mu_0 n I$ , où  $n$  est le nombre de spires par mètre et  $I$  le courant. Trois paramètres peuvent donc être modifiés pour rendre la bobine plus puissante : davantage de spires sur une même longueur, un courant plus élevé, ou un noyau lui-même aimantable. Le troisième est le plus puissant des trois. Un noyau ferromagnétique placé à l'intérieur de la bobine est aimanté par le champ de la bobine elle-même et y ajoute sa propre contribution, c'est pourquoi un électro-aimant à noyau de fer peut être des centaines de fois plus puissant que la même bobine enroulée autour de rien du tout.

Dans ce laboratoire, vous testerez chacun des trois facteurs tour à tour tout en maintenant les deux autres fixes. La partie A pousse sept noyaux différents — fer doux, nickel, verre, bois, aluminium, cuivre et aucun noyau — dans une bobine de 600 tours à une tension fixe de 15 V. La partie B conserve le noyau en fer doux et fait passer l'alimentation de 30 V à 15 V, puis à 7 V. La partie C conserve le noyau et la tension et change la bobine, passant de 15 tours à 300, puis à 600. La force de l'aimant est évaluée à chaque fois par la même jauge rudimentaire mais efficace : le pourcentage de trombones sur la table qu'il peut soulever.

### OBJECTIFS

- Comprendre ce qui compose un électro-aimant
- Contrôler les variables
- Distinction des matériaux magnétiques
- En utilisant une mesure indirecte
- Manipulation de l'appareil

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/solenoides/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/solenoides/)

## 081 — Efficacité énergétique

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy Transfer       |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.3 – Work, energy, power       |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 4, SEP 6 · CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-3                        |
| <b>Summary</b>             | Energy conservation and losses  |



### APERÇU

Chaque appareil qui convertit l'énergie d'une forme à une autre en gaspille une partie, et la fraction qui atteint sa destination prévue est ce que les ingénieurs appellent le rendement de l'appareil. C'est le chiffre imprimé sur l'étiquette énergétique d'un réfrigérateur, le chiffre donné pour une centrale électrique ou un moteur électrique, et la quantité qu'un audit énergétique d'un bâtiment cherche à établir. Sa mesure se résume toujours aux deux mêmes étapes : compter l'énergie qui entre, puis compter l'énergie qui arrive là où on le souhaitait, et faire le rapport.

L'instrument utilisé pour mesurer l'énergie qui arrive sous forme de chaleur est le calorimètre — un récipient d'eau isolé équipé d'un réchauffeur, d'un agitateur et d'un thermomètre. L'énergie électrique fournie au réchauffeur est connue exactement à partir de la tension d'alimentation, du courant et du temps de fonctionnement, car  $E = U I \Delta t$ . La chaleur qui se retrouve dans l'eau est connue à partir de sa masse, de sa capacité thermique massique et de son élévation de température, car  $Q = m c \Delta T$ . Le rapport de la seconde sur la première est le rendement. L'eau est utilisée parce que sa capacité thermique massique est grande, connue avec précision et presque constante sur une plage de températures restreinte, de sorte que le thermomètre devient un compteur d'énergie fiable.

Dans ce laboratoire, vous assemblerez vous-même cette mesure. Vous réglerez une source d'alimentation à 4 V, insérerez un multimètre en série afin que le courant soit mesuré plutôt que supposé, verserez une quantité mesurée de 200 mL d'eau distillée dans le calorimètre, démarrerez l'agitateur et enregistrerez la température pendant une minute de temps simulé — ce qui, à l'accélération de 5,5× de la simulation, correspond à 330 secondes de chauffage. À partir de ces lectures, vous calculerez l'énergie électrique fournie, l'énergie thermique absorbée et le rendement, puis vous expliquerez la différence entre les deux.

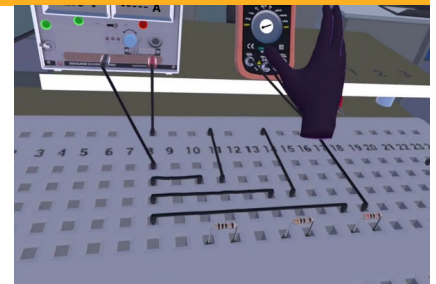
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Manipulation sécurisée des appareils électriques
- Construction et instrumentation d'un circuit
- Mesure quantitative de l'énergie
- Calcul et interprétation d'une efficacité
- Évaluation critique d'une mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/081-efficacite-energetique/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/081-efficacite-energetique/)

# 110 — Loi de Kirchhoff

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| IB Programme        | Physics — Systems                                 |
| Secondary Programme | DP Physics                                        |
| Syllabus Reference  | B.5 – Current and circuits                        |
| NGSS (HS)           | HS-PS3-3 · SEP 5, SEP 6 · CCC 4, CCC 5            |
| NGSS (MS)           | MS-PS3-3                                          |
| Summary             | Electric circuit current and voltage distribution |



## APERÇU

Chaque appareil électrique et électronique, du chargeur de téléphone au réseau national, est conçu et analysé à l'aide de deux règles formulées par Gustav Kirchhoff en 1845. Il ne s'agit pas de nouvelles forces de la nature, mais de deux lois de conservation formulées dans le langage des circuits. La loi des nœuds de Kirchhoff stipule que le courant entrant dans un nœud quelconque est égal au courant qui en sort : la charge électrique est conservée, elle ne peut donc ni s'accumuler en un nœud ni en disparaître. La loi des mailles de Kirchhoff stipule que, le long d'une boucle fermée quelconque, la somme des augmentations et des chutes de tension est nulle : l'énergie est conservée, de sorte qu'une charge transportée une fois autour d'une boucle revient avec l'énergie avec laquelle elle a commencé. Combinées à la loi d'Ohm, elles suffisent à résoudre n'importe quel réseau de résistances, ce qui explique pourquoi elles constituent les premiers outils de tout cours d'électronique. Dans ce laboratoire, vous mettrez ces deux lois à l'épreuve d'une vérification expérimentale directe. Vous construirez un circuit en série puis un circuit en parallèle à partir des trois mêmes résistances (100  $\Omega$ , 200  $\Omega$  et 300  $\Omega$ ) alimentées par une source de 12 V, mesurerez le courant en tout point et la tension aux bornes de chaque composant à l'aide d'un multimètre, et vérifierez que les courants à chaque nœud et les tensions le long de chaque boucle s'additionnent exactement comme l'exigent ces deux lois.

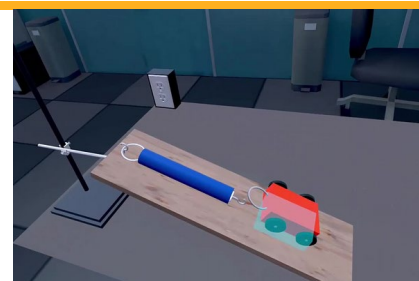
## OBJECTIFS

- Comprendre les lois de Kirchhoff
- Assemblage de circuits
- Utilisation du multimètre
- Relier la théorie à la pratique
- Pensée analytique

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/110-lois-de-kirchhoff/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/110-lois-de-kirchhoff/)

## 082 — Force efficace

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Forces                 |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.2 Forces and momentum          |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-1 · SEP 4, SEP 5 · CCC 2  |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-2                         |
| <b>Summary</b>             | Newton's second law verification |



### APERÇU

Un plan incliné est la plus ancienne des machines simples et reste l'une des plus utiles : c'est pourquoi il existe des rampes pour fauteuils roulants, pourquoi une route de montagne fait des lacets au lieu de grimper tout droit, et pourquoi un quai de chargement a une pente plutôt qu'une marche. Dans chaque cas, la rampe ne réduit pas le travail nécessaire pour soulever une charge — elle réduit l' force requis, en répartissant ce travail sur un trajet plus long. Savoir quelle force une pente donnée exige est ce qui permet de concevoir une rampe, de dimensionner un treuil ou de donner à une route de flanc de colline une pente sécuritaire.

La physique est la décomposition d'un vecteur unique. La gravité tire le chariot tout droit vers le bas avec son poids total  $F_g = m g$ , mais la planche ne peut être quittée que le long de sa surface ou enfoncée perpendiculairement à celle-ci. En décomposant le poids le long de ces deux directions, on obtient une composante parallèle à la pente,  $F_{\text{supprimer}} = F_g \sin \theta$ , qui est la composante qui tend à faire descendre le chariot, et une composante perpendiculaire à celle-ci,  $N = F_g \cos \theta$ , que la planche supporte simplement. Seule la composante parallèle — la force effective — doit être retenue, et comme  $\sin \theta$  passe de zéro à l'horizontale à un à la verticale, le même chariot exige une retenue différente sur chaque pente.

Dans ce laboratoire, vous mesurerez directement cette composante. Un chariot de masse connue est relié à un dynamomètre aligné avec une planche, et la planche est réglée à environ 20°, 40° et 60° en déplaçant une pince le long d'un support universel. À chaque angle, vous lirez la force exercée par le dynamomètre et calculerez ce que  $F_g \sin \theta$  prédit, et comparez les deux. La comparaison est l'objet de l'expérience : l'accord confirme la décomposition, et l'importance d'un éventuel désaccord indique la précision de la mesure.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation correcte d'un dynamomètre
- Décomposition d'une force en composantes
- Prédiction et test d'une relation quantitative
- Comparaison de la mesure avec la théorie
- Relier la force à l'idée d'une machine

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/force-effective-sur-un-plan-incline/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/force-effective-sur-un-plan-incline/)

## 083 — L'énergie mécanique d'un objet en mouvement

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy                          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                                |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.3 Work, energy, power                   |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-1; HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-1; MS-PS3-5                        |
| <b>Summary</b>             | Kinetic and potential energy transfer     |



### APERÇU

Un pendule en mouvement est la démonstration la plus claire en physique que l'énergie peut changer de forme sans changer de quantité. C'est aussi, historiquement, l'une des plus importantes : la constance du mouvement d'un pendule a offert au monde ses premières horloges précises, a tenu ce rôle pendant près de trois siècles, et est toujours utilisée pour mesurer la gravité locale avec assez de précision pour cartographier la densité de la roche sous un site de prospection. Le même principe régit un enfant sur une balançoire, une boule de démolition, un skateboard dans un half-pipe et l'amortisseur suspendu qui stabilise un grand bâtiment dans le vent.

L'énergie mécanique d'un objet est la somme de son énergie potentielle gravitationnelle,  $E_p = m g h$ , et son énergie cinétique,  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ . Lorsqu'aucune force de frottement n'agit, cette somme est conservée : tout ce qu'une forme perd, l'autre le gagne, instant par instant. Un pendule rend cet échange visible parce qu'il sépare les deux formes dans l'espace. Aux extrémités de l'oscillation, la masse est momentanément au repos à son point le plus haut, de sorte que l'énergie est entièrement potentielle ; au bas de l'arc, la masse se trouve à son point le plus bas et se déplace le plus rapidement, de sorte que l'énergie est entièrement cinétique. Chaque position intermédiaire contient un mélange dont le total est toujours le même.

Dans ce laboratoire, vous suspendrez une masse de 50 g à une tige rigide sur un support universel, l'écarterez de 15° par rapport à la verticale et mesurerez la hauteur dont elle a été relevée par rapport à sa position de repos. En la lâchant, vous chronometrerez cinq oscillations complètes. Vous répéterez ensuite toute la procédure à 30°. À partir des deux hauteurs, vous calculerez l'énergie potentielle emmagasinée au début de chaque oscillation, et à partir de la conservation de l'énergie mécanique, vous déduirez la vitesse que la masse atteint au bas de son arc — une vitesse que l'appareil ne mesure jamais directement, mais que le bilan énergétique fournit sans qu'il soit nécessaire de le faire.

### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Mesure minutieuse de la longueur, de l'angle et du temps
- Calcul de l'énergie potentielle gravitationnelle
- Application de la conservation de l'énergie mécanique
- Relier l'angle de lâcher à l'énergie
- Vérification du modèle

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/lenergie-mecanique-dun-objet-en-mouvement/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/lenergie-mecanique-dun-objet-en-mouvement/)

## 084 — Accélération constante

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| IB Programme        | Physics — Motion                 |
| Secondary Programme | DP Physics                       |
| Syllabus Reference  | A.1 Kinematics                   |
| NGSS (HS)           | HS-PS2-1 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1  |
| NGSS (MS)           | MS-PS2-2                         |
| Summary             | Acceleration and motion graphing |



### APERÇU

Un chariot lâché au sommet d'une rampe accélère à mesure qu'il descend, et il le fait à un rythme qui reste constant du haut jusqu'en bas de la planche. Il s'agit d'un mouvement uniformément accéléré – la même quantité de vitesse gagnée à chaque seconde – et c'est le cas le plus simple où la vitesse varie. Les ingénieurs le rencontrent partout où une charge dévale une pente : convoyeurs à rouleaux par gravité dans un entrepôt, piste de luge, rampe utilisée pour décharger un camion. C'est également le cas de référence auquel tout mouvement plus complexe est comparé.

La cause est que seule une partie du poids du chariot agit le long de la planche. La gravité tire tout droit vers le bas avec une force  $mg$ ; sur un plan incliné d'un angle  $\theta$ , la composante le long de la surface est  $mg \sin \theta$ , et la composante qui pousse le chariot dans la planche est  $mg \cos \theta$ . Le premier déplace la charrette, le second détermine la force avec laquelle la friction y résiste, de sorte que l'accélération le long de la pente est  $a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta)$ . La masse s'annule complètement dans cette expression : une charrette lourde et une légère accélèrent de manière identique sur la même rampe, bien que la lourde transporte plus d'énergie lorsqu'elle y arrive.

Dans ce laboratoire, vous construirez un plan incliné à partir de deux planches et d'une pince sur un support universel, vous y ferez descendre un chariot de 250 g pendant qu'un enregistreur d'étincelles imprime un point sur une bande de papier à intervalles fixes, et vous répétez la descente à trois angles croissants. La bande est l'enregistrement du mouvement : des points de plus en plus espacés signifient que le chariot accélère, et le taux d'augmentation de cet espacement est l'accélération. À partir de cette accélération et de la distance parcourue, vous rendrez ensuite compte de l'énergie : quelle quantité d'énergie potentielle gravitationnelle a été libérée, quelle quantité est arrivée au bas de la rampe sous forme d'énergie cinétique, et quelle quantité a été absorbée par le frottement lors de la descente.

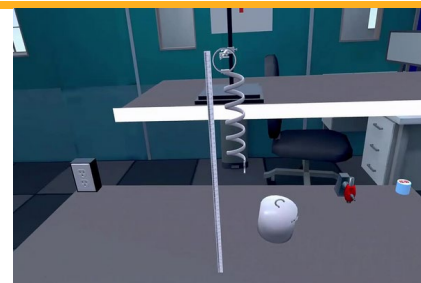
### OBJECTIFS

- Construction et caractérisation d'un plan incliné
- Enregistrer le mouvement avec un compte-gouttes à étincelles
- Mesure de la vitesse et de l'accélération à partir de données
- Application des équations du mouvement uniformément accéléré
- Décomposition des forces sur un plan incliné
- Tenir compte de l'énergie
- Évaluation de la qualité d'une mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/acceleration-constante/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/acceleration-constante/)

## 085 — La relation entre la déformation d'un ressort et la force de rappel qu'il exerce

|                     |                                        |
|---------------------|----------------------------------------|
| IB Programme        | Physics — Forces                       |
| Secondary Programme | DP Physics                             |
| Syllabus Reference  | A.4 Rigid body mechanics               |
| NGSS (HS)           | HS-PS2-1 · SEP 4, SEP 5 · CCC 1, CCC 2 |
| NGSS (MS)           | MS-PS2-2                               |
| Summary             | Hooke's Law demonstration              |



### APERÇU

Les ressorts comptent parmi les composants mécaniques les plus utiles jamais conçus : ils suspendent les véhicules, ferment les portes, font fonctionner les montres et font revenir les stylos rétractables. L'instrument qu'un laboratoire utilise pour mesurer la force — le dynamomètre — n'est lui-même rien d'autre qu'un ressort calibré ; comprendre comment un ressort réagit à une charge revient donc à comprendre comment la force elle-même est mesurée. Cette réponse est décrite par la loi de Hooke : dans sa limite d'élasticité, un ressort exerce une force de rappel proportionnelle à son allongement,  $F = k\Delta l$ , où la constante de raideur  $k$  mesure la rigidité de ce ressort particulier. Cette proportionnalité est essentielle — doubler la charge double l'étirement — et c'est ce qui rend un ressort utilisable comme instrument de mesure. Dans ce laboratoire, vous suspendrez un ressort à un support, le chargerez avec des masses de 1 N à 9 N par paliers égaux, et lirez l'allongement produit par chaque charge sur une règle fixe. Le tracé de la force de rappel en fonction de l'allongement révèle alors la relation linéaire, et la pente de cette droite représente la constante de raideur du ressort.

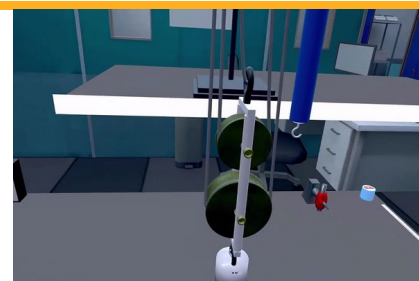
### OBJECTIFS

- Familiarisation avec l'environnement du laboratoire
- Utilisation des instruments de mesure
- Comprendre la loi de Hooke
- Analyse graphique et mathématique
- Analyse critique des résultats

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/085-la-relation-entre-la-deformation-dun-ressort-et-la-force-de-rappel-qu'il-exerce/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/085-la-relation-entre-la-deformation-dun-ressort-et-la-force-de-rappel-qu'il-exerce/)

## 086 — Le fonctionnement d'un palan

|                            |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy, systems              |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                             |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.3 Work, energy, power                |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3 · SEP 2, SEP 6 · CCC 4, CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-5                               |
| <b>Summary</b>             | Pulleys and mechanical advantage       |



### APERÇU

Un palan est un système de moufle : une corde enfilée va et vient entre un bloc de poulies fixe et un bloc mobile, de sorte que la charge est suspendue à plusieurs brins à la fois plutôt qu'à une seule corde. Les grues sur les chantiers de construction, les systèmes de cintres de théâtre, les écouteurs de grand-voile et les levateurs de moteurs de garage sont tous la même machine, et ils existent tous pour la même raison : une personne peut tirer fort pendant un court instant mais ne peut pas du tout tirer avec une force de plusieurs centaines de newtons.

Le principe est que le poids de la charge est réparti également entre les brins qui soutiennent la poulie mobile. Avec cinq brins de ce type, chacun supporte un cinquième du poids, et comme l'extrémité libre de la corde est simplement le dernier de ces brins, la main tire cinq fois moins fort. Rien n'est obtenu sans rien : pour soulever la charge de 20 cm, chacun des cinq brins doit raccourcir de 20 cm, il faut donc tirer un mètre entier de corde. La machine multiplie la force et divise la distance, et le produit des deux — le travail — est ce qu'elle ne peut pas changer. Ce qu'un palan réel peut faire, c'est perdre une partie de ce travail en frottements dans les axes et par le poids de la poulie mobile qu'il doit soulever en même temps que la charge, et la fraction qui subsiste est son rendement.

Dans ce laboratoire, vous suspendrez un poids de 1 N à un palan à cinq brins, tirerez sur un dynamomètre jusqu'à ce que la charge monte à vitesse constante, et lirez la force requise. Vous répéterez la mesure huit autres fois, en ajoutant un newton à chaque fois jusqu'à 9 N, et pour chaque essai, vous calculerez le rapport entre la charge et la force de traction. La deuxième loi de Newton appliquée à la charge à vitesse constante donne ensuite la relation entre le poids et la tension de la corde, et la comparaison du travail que vous fournissez avec l'énergie potentielle gagnée par la charge donne le rendement de la machine.

### OBJECTIFS

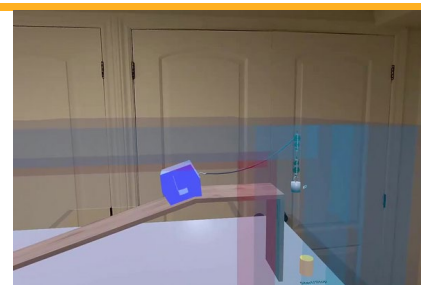
- Comprendre comment un palan démultiplie la force
- Application des lois de Newton à un système en équilibre
- Mesure de la force et du déplacement
- Travail, énergie et efficacité
- Interprétation d'une tendance sur une série de charges
- Connexion de la machine à ses utilisations

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/086-le-fonctionnement-dun-palan/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/086-le-fonctionnement-dun-palan/)



## 087 — Avantage mécanique dans la conception de scène de théâtre

|                            |                                                   |
|----------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy, systems                         |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                                        |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.4 Mechanics                                     |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-3; HS-ETS1-2 · SEP 2, SEP 6 · CCC 4, CCC 6 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-5                                          |
| <b>Summary</b>             | Engineering applications of pulleys               |



### APERÇU

Tout théâtre doté d'un gril fonctionne avec des contrepoids. Un élément de décor, une barre d'éclairage ou un artiste est déplacé non pas par un moteur, mais par une masse à l'autre bout d'un câble, et le métier du technicien de scène consiste à choisir cette masse pour que le mouvement prenne le temps demandé par le metteur en scène, arrive là où il le faut, et ne s'emballe jamais. La même arithmétique régit un funiculaire, un ascenseur, une fenêtre à guillotine et une grue — partout où une chose lourde est équilibrée par une autre chose lourde par l'intermédiaire d'un câble et de poulies.

Deux principes de physique se rejoignent ici. Le premier est le palan : avec cinq brins soutenant la moufle mobile, la force est multipliée par cinq et la distance divisée par cinq, si bien que le contrepoids se déplace d'un cinquième de la distance de la charge et tire cinq fois plus fort. Le second est la deuxième loi de Newton appliquée à un système qui n'est pas en équilibre. Un contrepoids qui équilibrerait exactement la scène la maintiendrait immobile ; pour la faire bouger dans un laps de temps donné, le contrepoids doit être délibérément plus lourd que l'équilibre, et cet excédent est ce qui accélère les deux masses et surmonte le frottement de la pente. Parce que les deux extrémités sont reliées par la corde, leurs accélérations sont liées par le même rapport de 5 pour 1 que leurs déplacements.

Dans ce laboratoire, on vous propose une situation à mettre en œuvre : un berceau supportant un acteur, d'un poids total de 150 kg, doit parcourir 12 m en montant une rampe inclinée à  $18^\circ$ , en luttant contre une force de frottement égale à 24 % de la force normale, tiré par un contrepoids suspendu à un palan à cinq brins. Vous allez réaliser la démonstration, en relever le temps de parcours et le déplacement du contrepoids, puis procéder à un raisonnement à rebours : déterminer l'accélération de chaque corps à partir de la cinématique, les six forces agissant sur le berceau à l'aide d'un diagramme de corps libre, et enfin la masse du contrepoids nécessaire à cette mise en scène. La dernière question est celle que se pose réellement un technicien sur le terrain : lesquelles de ces grandeurs peuvent être modifiées, et quel est l'effet de chaque modification sur le mouvement ?.

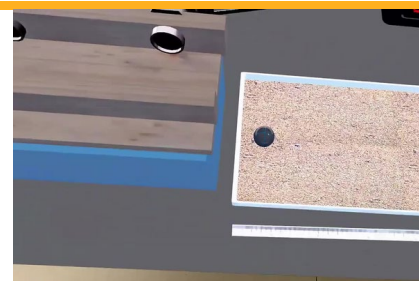
### OBJECTIFS

- Lire une machine comme une contrainte entre deux corps
- Construction et utilisation de diagrammes de corps libres
- Application de la cinématique de l'accélération uniforme
- Conception sur cahier des charges
- En tenant compte des frottements et des pertes
- Relier le modèle à l'étape

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/087-avantage\\_mecanique\\_dans\\_la\\_conception\\_de\\_scenes\\_de\\_theatre/](http://proteus-vr.com/fr/laboratoire/087-avantage_mecanique_dans_la_conception_de_scenes_de_theatre/)

## 088 — La relation entre la force résultante et l'accélération

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Forces                |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                      |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.2 Forces and momentum         |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-1 · SEP 4, SEP 5 · CCC 2 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-2                        |
| <b>Summary</b>             | Projectile motion exploration   |



### APERÇU

Lorsqu'une balle roule et quitte le bord d'une table, elle fait deux choses en même temps, et l'ensemble du mouvement des projectiles repose sur le fait que ces deux choses ne s'influencent pas mutuellement. Horizontalement, elle conserve la vitesse avec laquelle elle est partie, car rien ne la pousse vers l'avant ou vers l'arrière. Verticalement, elle tombe exactement comme elle serait tombée si elle avait été lâchée sans vitesse initiale, car la gravité se moque du fait qu'elle se déplace également de côté. Une balle poussée doucement d'un banc et une autre propulsée violemment du même banc touchent le sol au même moment ; seule la distance par rapport au banc diffère. Cette indépendance est ce qui permet de calculer la balistique, la technique du saut en longueur et la trajectoire d'un javelot lancé.

La conséquence est une prédiction frappante de simplicité. Le temps passé en air est déterminé entièrement par la hauteur de chute :  $h = \frac{1}{2}gt^2$  donne  $t = \sqrt{2h/g}$ , identique pour chaque lancer depuis le même banc. La distance horizontale est alors tout ce que ce temps fixe permet d'obtenir à la vitesse de lancement,  $\Delta x = v_{xt} = v_x\sqrt{2h/g}$ . La portée est donc directement proportionnel à la vitesse de lancement — et non à son carré, ni à quoi que ce soit de plus compliqué — et un graphique de l'une en fonction de l'autre est une droite passant par l'origine dont la pente est le temps de vol en secondes.

Dans ce laboratoire, une bille métallique est propulsée le long d'un rail horizontal et quitte son extrémité pour atterrir dans un bac à sable. Deux capteurs à photodiodes, situés à une distance fixe l'un de l'autre sur la partie rectiligne du rail, chronomètrent la bille lors de son passage, ce qui donne directement la vitesse de lancement ; la règle donne la hauteur du rail par rapport à la surface de réception, et un ruban à mesurer donne la portée entre l'extrémité du rail et le point d'impact. Huit lancements sont effectués à des intensités croissantes du lanceur, et les paires de vitesses de lancement et de portées sont tracées l'une en fonction de l'autre. Ce que l'on teste, c'est si la pente de cette droite correspond à  $\sqrt{2h/g}$  calculée à partir de la hauteur mesurée — une prédiction faite sans aucun paramètre libre.

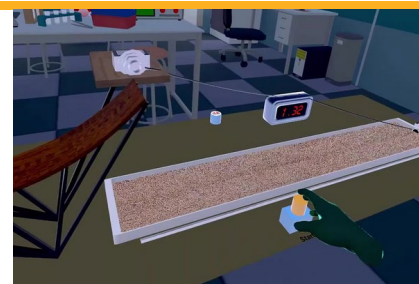
### OBJECTIFS

- Comprendre le mouvement d'un projectile comme deux problèmes indépendants
- Mesurer une vitesse avec une paire de capteurs
- Application des équations cinématiques
- Créer et interpréter un graphique
- Évaluation des erreurs et de leur sens
- Mettre le résultat en perspective par rapport au monde extérieur au laboratoire

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/088-la-relation-entre-la-force-resultante-et-laceleration/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/088-la-relation-entre-la-force-resultante-et-laceleration/)

# 091 — Énergie cinétique

|                            |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Energy and Movement                    |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                                       |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.3 – Work, energy, power                        |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS3-1; HS-PS3-2 · SEP 5, SEP 6 · CCC 5        |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS3-1                                         |
| <b>Summary</b>             | Projectile motion and the role of air resistance |



## APERÇU

Ce laboratoire explore les principes du mouvement des projectiles et examine le rôle de la résistance de l'air dans des conditions réelles. Le mouvement des projectiles décrit le déplacement d'un objet lancé en l'air sous l'influence de la gravité. Dans un modèle idéalisé, la seule force agissant sur l'objet après le lancement est la gravité, ce qui entraîne une trajectoire parabolique prévisible. Cependant, dans des situations pratiques, des forces supplémentaires telles que la résistance de l'air peuvent influencer le mouvement et entraîner des déviations par rapport aux prédictions théoriques.

Dans cette expérience, une bille est lancée depuis une rampe munie d'une rampe descendante inclinée à  $31^\circ$ , s'élançant depuis une rampe ascendante inclinée à  $45^\circ$  dont le bord se trouve à 12 cm au-dessus du sable, et son mouvement est observé lorsqu'elle traverse les airs et atterrit dans un bac à sable. En faisant varier la position de départ de la bille le long de la rampe, les étudiants modifient les conditions initiales du mouvement, en particulier la vitesse de sortie. Ces variations permettent d'étudier comment des paramètres physiques tels que le temps de vol, la distance horizontale et la vitesse de sortie influencent la trajectoire.

Le laboratoire met l'accent sur la comparaison entre les calculs théoriques et les mesures expérimentales. Les étudiants appliqueront les équations cinématiques pour prédire le mouvement de la bille en l'absence de résistance de l'air, puis compareront ces prédictions avec les données observées. Cette comparaison offre un aperçu des limites des modèles idéaux et souligne l'impact des forces du monde réel telles que la résistance de l'air.

Grâce à cette activité, les élèves développent une compréhension approfondie du mouvement à deux dimensions, de l'indépendance des composantes horizontale et verticale du mouvement, et de l'importance de la validation expérimentale en physique. Le laboratoire renforce également l'utilisation de techniques de mesure précises et l'analyse critique lors de l'interprétation des résultats.

## OBJECTIFS

- Comprendre le mouvement des projectiles
- Application des équations cinématiques
- Analyse des conditions initiales
- Mesure expérimentale et collecte de données
- Comparaison entre la théorie et l'expérience
- Comprendre le rôle de la résistance de l'air

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/091-energie-cinetique/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/091-energie-cinetique/)

## 106 — Mouvement de roulement sur des rampes inclinées

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>IB Programme</b>        | Physics — Motion                          |
| <b>Secondary Programme</b> | DP Physics                                |
| <b>Syllabus Reference</b>  | A.1 Kinematics                            |
| <b>NGSS (HS)</b>           | HS-PS2-1; HS-PS3-2 · SEP 4, SEP 5 · CCC 5 |
| <b>NGSS (MS)</b>           | MS-PS2-2                                  |
| <b>Summary</b>             | Rolling motion and energy conservation    |



### APERÇU

Un objet en train de rouler transporte son énergie en deux endroits à la fois, et ce seul fait détermine presque tous les chiffres de ce laboratoire. Les convoyeurs à rouleaux par gravité dans les entrepôts, les roulements à billes, les pistes de bobsleigh et de skateboard, ainsi que les parcours de billes par gravité utilisés pour enseigner la mécanique, dépendent tous de la connaissance de la vitesse à laquelle un corps roulant se déplacera au pied d'une pente — et un corps roulant n'arrive jamais aussi vite qu'un corps glissant lâché de la même hauteur.

Lorsqu'un corps glisse sans frottement, chaque joule d'énergie potentielle gravitationnelle qu'il perd se transforme en énergie cinétique de translation. Lorsqu'il roule sans glisser, cette même énergie doit être partagée avec la rotation, car la surface de contact exerce un couple de frottement qui met le corps en rotation. Pour une sphère solide, la part consacrée à la rotation est fixe et correspond à deux septièmes du total, ne laissant que cinq septièmes pour propulser la sphère vers l'avant. C'est là l'origine du facteur 10/7 qui se retrouve dans tout le laboratoire : il remplace la formule familière  $v = \sqrt{2gh}$  du cas de glissement par  $v = \sqrt{(10gh/7)}$ , soit une vitesse environ 15 % plus faible. La gravité étant une force conservatrice, la forme et la longueur de la pente n'ont aucune incidence sur cette vitesse — seule la hauteur de chute compte.

Dans ce laboratoire, vous comparez deux rampes dont les sections descendantes ont toutes deux une longueur de 1,0 m mais descendent à des angles différents, 15° pour la rampe 1 et 20° pour la rampe 2, et par conséquent à des hauteurs différentes. Vous prédirez la vitesse de la bille au pied de chaque descente en utilisant uniquement la conservation de l'énergie, puis vous la mesurerez à l'aide d'une paire de barrières à photodiodes et d'un chronomètre électronique. Vous prédirez ensuite la hauteur à laquelle la bille remonte après avoir quitté la courte section ascendante de 45° à la fin de chaque rampe, mesurerez également cette hauteur, et déterminerez laquelle des deux géométries propulse la bille le plus haut — et pourquoi les valeurs mesurées sont légèrement inférieures à celles prédites.

### OBJECTIFS

- Mouvement de roulement et partage d'énergie
- Prédiction issue de la conservation de l'énergie mécanique
- Cinématique du lancement et du vol
- L'influence de la géométrie de la rampe
- Mesure avec des barrières à photodiode et un chronomètre électronique
- Comparaison du modèle avec la mesure

Page du laboratoire : [proteus-vr.com/fr/laboratoire/106-mouvement-de-roulement-sur-plans-inclines/](https://proteus-vr.com/fr/laboratoire/106-mouvement-de-roulement-sur-plans-inclines/)