

# DES MURS ISOLÉS AUX VILLES FRAÎCHES

## Explorer l'isolation et les pertes thermiques urbaines

thématique : énergie et efficacité énergétique



## Introduction

**Réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort thermique des bâtiments** est un enjeu central pour répondre aux défis du développement durable et de l'efficacité énergétique. Les bâtiments représentent une part importante de la consommation énergétique mondiale, et une **meilleure isolation thermique** permet à la fois de réaliser des économies d'énergie, de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** et de contribuer à **l'atténuation du changement climatique**. Des bâtiments bien isolés, sobres en énergie, offrent également **un environnement intérieur plus sain**, en maintenant une température stable et en limitant la condensation, ce qui prévient l'apparition de moisissures.

Dans cette activité fondée sur l'investigation, les élèves sont amenés à **concevoir et tester des solutions d'isolation**. Ils explorent les principes du **transfert thermique**, de la **conservation de l'énergie** par l'isolation, et analysent **l'influence des propriétés des matériaux** sur les performances thermiques. À travers des expériences pratiques, ils mesurent l'effet de l'isolation sur la stabilité de la température, en simulant la gestion énergétique des bâtiments dans des contextes réels.

Cette activité articule l'étude scientifique des propriétés thermiques avec des **applications concrètes aux enjeux du développement durable**. Les élèves développent leur esprit critique tout en faisant le lien entre les notions étudiées en classe et les défis environnementaux et sociaux actuels. Ce travail favorise ainsi **l'appropriation de pratiques durables**, applicables à la vie quotidienne comme aux métiers de l'ingénierie de demain.

Cette activité est directement liée à plusieurs **Objectifs de Développement Durable (ODD)** définis par les Nations Unies :

- **ODD 7 – Énergie propre et d'un coût abordable** : les élèves découvrent comment une bonne isolation permet de **réduire les besoins en chauffage et en climatisation**, rendant l'énergie plus accessible par des solutions simples et efficaces.
- **ODD 11 – Villes et communautés durables** : la conception de **bâtiments économes en énergie** contribue à renforcer la durabilité et la résilience des espaces urbains.
- **ODD 13 – Lutte contre les changements climatiques** : en diminuant la consommation énergétique des bâtiments, l'isolation participe à **la réduction de l'empreinte carbone** et à l'action climatique.

### Disciplines



physique

ingénierie

### Objectifs de développement durable





# L'activité en bref

## Structure du protocole


L'expérimentation se déroule en **quatre étapes progressives**, permettant aux élèves de comprendre les enjeux de **l'isolation thermique**, de la théorie jusqu'à ses applications concrètes :

- Étape 1 – Étude du climat intérieur : lien entre température, humidité et confort – Introduction à l'isolation thermique et formulation d'hypothèses.** Les élèves explorent les **principes fondamentaux de l'isolation thermique** et découvrent les facteurs influençant la perte de chaleur, tels que la **conductivité thermique**, la **résistance thermique** et les **caractéristiques des matériaux de construction**. En travaillant de manière collaborative, ils formulent des **hypothèses** sur les propriétés isolantes de différents matériaux et sur leurs performances dans des conditions réelles. Cette phase inclut des **discussions guidées** sur le transfert de chaleur, l'efficacité énergétique, et aboutit à l'élaboration de **questions de recherche** servant de base aux expérimentations ultérieures.
- Étape 2 – Exploration des matériaux d'isolation thermique – Enquête en laboratoire.** Dans cette phase pratique, les élèves mesurent et comparent la **résistance thermique** de plusieurs matériaux isolants. À travers des expériences contrôlées, ils testent différents paramètres : types de matériaux, **épaisseurs variées**, conditions d'humidité, etc. L'objectif est de comprendre **l'impact de chaque facteur** sur le transfert de chaleur. Cette démarche renforce leurs compétences en **conception expérimentale**, en **collecte de données** et en **analyse scientifique**, tout en ancrant la théorie dans des observations concrètes.
- Étape 3 – Application des connaissances à des contextes réels.** Les élèves réinvestissent les résultats obtenus en laboratoire dans des environnements réels. À l'aide de **caméras thermiques** et de **capteurs de température**, ils observent les **pertes de chaleur dans des bâtiments existants**, comme leur école ou leur domicile. Ils identifient les zones critiques – murs, fenêtres, toitures – et documentent les situations de **mauvaise isolation**. Cette étude de terrain les aide à comprendre les limites de l'isolation dans des conditions réelles et à relier leur apprentissage aux enjeux de leur quotidien.
- Étape 4 – Cartographie collaborative des pertes de chaleur urbaines.** Dans la phase finale, les élèves élargissent leur démarche à l'échelle du quartier ou de la ville. Ils mènent une « **marche thermique** », équipée de caméras thermiques, afin de **collecter des données sur les déperditions de chaleur** de plusieurs bâtiments. Ces observations sont ensuite utilisées pour créer une **carte collaborative des pertes thermiques urbaines**. Cette étape replace leur travail dans un **cadre collectif et citoyen**, et les conduit à **proposer des pistes concrètes d'amélioration** de l'efficacité énergétique à l'échelle de la communauté.



## Pour bien démarrer

**Durée :** Cette activité est conçue pour s'étendre sur quatre séances, chaque séance étant consacrée à l'une des étapes.

**Niveau de difficulté :** L'activité exige que les élèves s'engagent à la fois dans une exploration théorique et une expérimentation pratique. Elle comprend également l'utilisation pratique d'outils d'imagerie thermique et d'analyse de données 

### Matériel nécessaire :

- Caméras thermiques ou thermomètres infrarouges.
- Matériaux isolants pour expériences en laboratoire (par exemple, mousse, carton, laine, papier d'aluminium).
- Capteurs de température ou thermomètres.
- Accès à des cartes permettant d'annoter les observations de pertes de chaleur urbaines.
- Carnets ou outils numériques pour la collecte et l'analyse de données.

## Glossaire

Mots-clés et concepts	Définitions
<b>Isolation thermique</b>	Matériaux ou techniques utilisés pour réduire le transfert de chaleur entre les environnements intérieurs et extérieurs.
<b>Conductivité thermique (<math>\lambda</math>)</b>	Mesure de la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Des valeurs plus faibles indiquent de meilleures propriétés d'isolation.
<b>Résistance thermique (R)</b>	Capacité d'un matériau à résister au flux thermique, calculée comme l'épaisseur du matériau divisée par sa conductivité thermique.
<b>Pont thermique</b>	Zones d'un bâtiment où l'isolation est interrompue, ce qui entraîne des taux de transfert de chaleur plus élevés.
<b>Îlot de chaleur urbain</b>	Phénomène dans lequel les zones urbaines sont plus chaudes que les zones rurales environnantes en raison de l'absorption et de la rétention de chaleur par les bâtiments et les infrastructures.
<b>Perte de chaleur</b>	Le transfert de chaleur de l'intérieur d'un bâtiment vers l'environnement extérieur, généralement à travers les murs, les fenêtres, les portes et les toits.
<b>Imagerie thermique</b>	L'utilisation de caméras infrarouges pour détecter les variations de température et visualiser les pertes de chaleur dans les bâtiments.
<b>Infiltration d'air</b>	Le flux incontrôlé d'air extérieur dans un bâtiment à travers des interstices, des fissures ou des ouvertures mal scellées.
<b>Valeur R</b>	Mesure de l'efficacité d'un matériau isolant. Des valeurs R plus élevées indiquent une meilleure isolation.
<b>Résistance à l'humidité</b>	La capacité d'un matériau à conserver ses propriétés isolantes lorsqu'il est exposé à l'humidité ou à l'eau.
<b>Efficacité énergétique</b>	L'utilisation de technologies ou de pratiques pour réduire la consommation d'énergie tout en maintenant les niveaux de performance souhaités.
<b>Durabilité</b>	Pratiques qui répondent aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins, souvent liées à la gestion de l'environnement.
<b>Transfert de chaleur</b>	Le mouvement de l'énergie thermique par conduction, convection ou rayonnement.
<b>Rénovation d'isolation</b>	Processus d'ajout ou de mise à niveau de l'isolation dans un bâtiment existant pour améliorer l'efficacité énergétique.
<b>Imagerie thermique aérienne</b>	Une technique utilisant des drones ou des avions pour capturer des données thermiques de grandes zones, telles que des quartiers ou des villes, afin d'identifier les tendances en matière de perte de chaleur.



# Protocole

## Étape 1 – Introduction à l'isolation thermique et formulation d'hypothèses

**Contexte et description du problème à résoudre à cette étape** : Le **climat intérieur** désigne l'ensemble des conditions physiques et environnementales à l'intérieur d'un bâtiment, influençant le **confort, la santé et le bien-être** des occupants. Il repose sur plusieurs paramètres mesurables : **température, humidité, qualité de l'air et ventilation**. Toutefois, la perception de ces éléments varie selon les individus, en fonction de leurs préférences personnelles, de leurs vêtements, de leur niveau d'activité ou de leur état de santé. Un climat intérieur bien régulé **favorise le confort thermique et la santé**. À l'inverse, des conditions intérieures dégradées peuvent engendrer des problèmes de santé notables. Une **humidité excessive** favorise par exemple le développement de moisissures et d'acariens, souvent à l'origine d'**asthme ou d'allergies**. Des conditions trop sèches peuvent quant à elles **irriter les voies respiratoires** et assécher la peau. À long terme, une exposition continue à un climat intérieur sous-optimal – trop froid, trop chaud, trop sec ou trop humide – peut entraîner des **troubles chroniques** : stress thermique, infections respiratoires ou fatigue mentale. Les composantes du climat intérieur sont interdépendantes :

- **Température** : Principal facteur du confort thermique. Des températures intérieures inférieures à 20 °C ou supérieures à 25 °C peuvent générer un inconfort thermique, réduire la productivité et affecter la régulation corporelle.
- **Humidité** : Une humidité relative idéale se situe entre **40 et 60 %**. En dehors de cette plage, une humidité élevée accentue la sensation de chaleur, favorise la prolifération des moisissures et aggrave les allergies. À l'inverse, une humidité trop basse assèche la peau, les muqueuses et les voies respiratoires, augmentant ainsi le risque d'infections.
- **Qualité de l'air** : Elle dépend de la présence de polluants comme les **particules fines**, les **composés organiques volatils (COV)** ou le **dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**. Une mauvaise qualité de l'air, souvent liée à une **ventilation insuffisante**, peut entraîner le « syndrome des bâtiments malsains » (maux de tête, fatigue, irritation respiratoire).
- **Ventilation** : Essentielle pour le **renouvellement de l'air**, elle permet d'éliminer les polluants, d'apporter de l'oxygène et de maintenir une température intérieure stable.



Ces paramètres interagissent entre eux. Par exemple, une humidité élevée dégrade aussi la qualité de l'air en facilitant la prolifération de micro-organismes, tandis qu'une ventilation insuffisante retient la chaleur et les polluants, accentuant l'inconfort thermique. Au-delà du confort, le climat intérieur impacte des enjeux de santé publique, de consommation énergétique et de durabilité environnementale :

- **Impacts sur la santé** : Les conditions intérieures dégradées touchent en particulier les personnes vulnérables : enfants, personnes âgées, ou souffrant de pathologies chroniques. Le froid augmente les risques cardiovasculaires et respiratoires ; la chaleur peut provoquer déshydratation et coup de chaleur ; une mauvaise ventilation ou une humidité excessive aggravent l'asthme, les allergies et les troubles respiratoires.
- **Consommation d'énergie et impacts environnementaux** : Un bâtiment mal isolé exige plus de chauffage ou de climatisation, ce qui accroît la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre. Une meilleure isolation participe donc aux objectifs de transition énergétique.
- **Considérations économiques et productivité** : Un climat intérieur non adapté peut diminuer la concentration et la performance, tant dans les établissements scolaires que professionnels. Dans les logements, un système de chauffage ou de climatisation inefficace représente une charge financière importante, en particulier dans les habitats peu performants sur le plan thermique.

**Objectifs d'apprentissage** : Étudier l'interaction entre les paramètres physiques (température, humidité) et les perceptions subjectives du confort. Comprendre le processus scientifique de mesure et d'interprétation des données environnementales dans un cadre expérimental.

## Questions initiales pour susciter l'intérêt

Pour **relier le sujet aux expériences vécues** par les élèves, l'enseignant peut proposer une série de questions introductives destinées à susciter l'observation et la réflexion :

- **Avez-vous déjà remarqué que certaines pièces paraissent “étouffantes” ou inconfortables**, même si la température semble correcte ? Qu'est-ce qui pourrait expliquer cette sensation ?
- **Comment l'environnement intérieur influence-t-il votre humeur, votre concentration ou votre énergie au quotidien ?**
- **Pourquoi certaines maisons nécessitent-elles beaucoup de chauffage ou de climatisation pour rester agréables**, alors que d'autres semblent naturellement confortables ?

Ces questions invitent les élèves à mobiliser **leurs observations personnelles** et à **ancrer leur réflexion dans des situations concrètes**. Elles ouvrent la voie à une **démarche d'enquête active** sur les mécanismes du climat intérieur, en lien direct avec leur cadre de vie.

## Conceptualisation

Dans cette phase, les élèves exploreront les concepts fondamentaux du climat intérieur et analyseront leurs effets sur le confort thermique et la santé. Pour formuler des hypothèses pertinentes, ils devront acquérir une compréhension claire des bases liées à la température, à l'humidité, à la ventilation, et à l'interaction de ces paramètres.

Des explications structurées fourniront aux élèves le vocabulaire scientifique et le cadre conceptuel nécessaires pour guider leur enquête. Ils aborderont notamment les notions suivantes :

- **Confort thermique** : Il résulte d'un **équilibre entre des facteurs environnementaux** (température, humidité, mouvement de l'air) et des **facteurs personnels** (type de vêtements, niveau d'activité). Comprendre comment ces éléments interagissent est essentiel pour analyser les conditions de confort dans un espace intérieur.
- **Niveaux d'humidité** : Les élèves étudieront les effets de l'humidité de l'air sur le confort et la santé :
  - **Humidité faible** : entraîne une **sécheresse de la peau**, des **irritations des voies respiratoires**, voire une sensation générale d'inconfort.
  - **Humidité élevée** : favorise le développement de **moisissures** et d'**acariens**, ce qui peut déclencher des **allergies** et une **sensation d'air lourd ou étouffant**.
- **Ventilation** : Les élèves analyseront comment une **bonne circulation de l'air** permet de maintenir des conditions stables de température et d'humidité, tout en **éliminant les polluants intérieurs** et en assurant un bon renouvellement de l'air.
- **Impacts sur la santé** : Une mauvaise qualité du climat intérieur peut contribuer à divers troubles tels que des **problèmes respiratoires**, une **fatigue cardiovasculaire**, ou encore une **baisse des capacités cognitives** (concentration, vigilance, mémorisation).

Afin d'ancrer ces notions dans le vécu des élèves, les enseignants sont encouragés à établir des liens avec leurs expériences quotidiennes : ressentis lors des changements de saisons, différences de confort entre pièces chauffées ou non, ou encore perception de l'air “sec” ou “étouffant” dans certains lieux.

## Questions et hypothèses de recherche

Les élèves élaboreront des questions de recherche spécifiques. Une question de recherche bien formulée définit clairement l'objectif de l'étude et guide la formulation ultérieure des hypothèses. Voici quelques exemples de questions de recherche :



- Comment la température et l'humidité varient-elles d'une pièce à l'autre dans une maison ?
- En quoi la ventilation influence-t-elle la stabilité de la température et humidité dans le temps ?
- Quels sont les facteurs qui affectent le niveau de confort dans les différentes pièces d'un même logement ?

Au cours de discussions guidées, les élèves partageront leurs observations et formuleront des questions qui stimulent leur curiosité. Une fois une question de recherche choisie, ils collaboreront pour élaborer des hypothèses vérifiables.

Une bonne hypothèse permet de formuler une prédiction claire et testable.

L'enseignant veillera à rappeler que les hypothèses doivent mobiliser des variables mesurables. Chaque hypothèse doit répondre directement à la question de recherche, et les résultats des tests pourront amener à réajuster ou affiner la question initiale, par exemple :



- **Pour « Comment la température et l'humidité varient-elles d'une pièce à l'autre dans une maison ? »**
  - Hypothèse : Les pièces exposées au soleil auront une température plus élevée et une humidité plus faible que les pièces situées à l'ombre.
- **Pour « En quoi la ventilation influence-t-elle la stabilité de la température et de l'humidité dans le temps ? »**
  - Hypothèse : Les pièces mieux ventilées présenteront des niveaux de température et d'humidité plus stables que celles dont la ventilation est insuffisante.
- **Pour « Quels sont les facteurs qui affectent le niveau de confort dans les différentes pièces d'un même logement ? »**
  - Hypothèse : Les pièces ayant un taux d'humidité élevé seront perçues comme moins confortables, même si la température y est adéquate.

Pour chaque hypothèse, les élèves devront identifier les variables essentielles à prendre en compte dans leur protocole expérimental :

- **Variables indépendantes** : ce sont les **facteurs à faire varier ou à comparer**, comme l'état de la ventilation, l'exposition au soleil ou la qualité de l'isolation.
- **Variables dépendantes** : ce sont les **résultats à mesurer**, tels que la température, le taux d'humidité ou le niveau de confort perçu.
- **Variables contrôlées** : ce sont les **paramètres à maintenir constants** pour garantir la fiabilité des observations, par exemple l'heure de la journée ou l'emplacement du capteur.

**Encourager la pensée critique et le débat**: Les élèves doivent être incités à **explorer différentes perspectives** et à **mettre leurs hypothèses à l'épreuve**. Par exemple :

- Les **matériaux de construction** ou l'**emplacement des meubles** peuvent-ils influencer la température ou le taux d'humidité dans une pièce ?
- Pourquoi les **sensations de confort varient-elles d'une personne à l'autre** ?
- Nos mesures de température et d'humidité permettent-elles de **refléter toutes les variations significatives** d'un espace intérieur ?



Les élèves doivent également relier leur réflexion à des **enjeux plus larges** :

- **Comment un meilleur contrôle du climat intérieur peut-il contribuer à réduire la consommation d'énergie** et à améliorer la durabilité ?
- **Quelles solutions pourraient permettre d'assainir le climat intérieur** dans des logements mal isolés ?
- **Comment ces observations peuvent-elles influencer la conception de bâtiments plus sobres en énergie** ?

Ces liens permettent aux élèves de comprendre **la portée réelle de leur travail** et les encouragent à **approfondir l'analyse de leurs hypothèses** en les situant dans un contexte environnemental et sociétal plus large.

Guider les élèves dans la compréhension des concepts fondamentaux, l'élaboration de questions de recherche claires et la formulation d'hypothèses vérifiables. À travers des discussions et des débats collaboratifs, les élèves se préparent à mener l'enquête. Ce travail préparatoire garantit qu'ils disposent des bases nécessaires pour tester leurs hypothèses et explorer la dynamique du climat intérieur dans la phase suivante.

## Investigation par les élèves

Au cours de cette phase, les élèves concevront et mettront en place des expériences pour tester leurs hypothèses sur la manière dont la température, l'humidité et d'autres facteurs du climat intérieur influencent le niveau de confort dans différentes zones de leur maison. L'enseignant accompagnera les élèves dans l'élaboration d'un protocole clair et applicable, tout en encourageant la pensée critique et le respect des principes de la démarche scientifique.

Avant de commencer les expériences, les élèves consulteront une littérature pertinente afin d'approfondir leur compréhension des facteurs liés au climat intérieur et au confort. Les ressources principales comprendront des articles scientifiques sur les normes de confort thermique, des guides techniques sur la mesure de la température et de l'humidité, ainsi que des études de cas et des infographies illustrant les effets du climat intérieur sur la santé et la consommation d'énergie.

Ces recherches préalables viendront étayer leur enquête et leur permettront de situer leurs observations dans le cadre des connaissances scientifiques établies.

### Définir le protocole expérimental

Un protocole expérimental rigoureux est essentiel pour garantir des résultats fiables et reproductibles. Voici les éléments fondamentaux à prendre en compte, illustrés à travers deux exemples de protocoles pouvant servir de source d'inspiration.



**Protocole 1 – Objectif de l'étude :** Étudier l'influence des variations de température et d'humidité entre différentes pièces sur le niveau de confort perçu.

**Hypothèse :** Les pièces présentant un **taux d'humidité plus élevé** seront perçues comme **moins confortables**, indépendamment de la température mesurée.

**Durée de l'étude :** Une **semaine de collecte de données**, avec **trois relevés par jour** : le matin, l'après-midi et le soir.

### Méthode de collecte des données :

- **Mesures quantitatives :** Installer des capteurs de température et d'humidité dans trois pièces distinctes : la chambre, la salle de bain et l'espace de vie. Il est important de maintenir un positionnement constant des capteurs afin de limiter les biais. Les mesures devront être effectuées à des heures fixes pour permettre le suivi des variations journalières.
- **Observations qualitatives :** Noter le niveau de confort perçu à l'aide de descripteurs simples : « confortable », « trop sec » ou « trop humide ». Documenter également les conditions environnementales observées au moment de chaque mesure : état des fenêtres (ouvertes/fermées), fonctionnement du chauffage, exposition au soleil, etc.

### Utilisation des données :

- **Stockage des données :** Toutes les mesures seront rassemblées dans un tableau structuré, afin de faciliter l'analyse ultérieure.

Date/Heure	Chambre	Température (°C)	Humidité (%)	Confort perçu	Notes
07/01 - 8h00	Chambre	18°C	55%	Confortable	Chauffage allumé, rideaux fermés
01/07 - 20h	Salle de bain	22°C	70%	Trop humide	Fenêtre fermée, pas de ventilation

- Analyse des données : Comparer les niveaux de température et d'humidité relevés dans chaque pièce en les mettant en relation avec les appréciations de confort recueillies. Utiliser des outils statistiques simples (moyennes, écarts, corrélations) pour faire ressortir les tendances significatives.

#### **Interprétation et évaluation :**

- Évaluer dans quelle mesure les données recueillies confirment ou invalident l'hypothèse, en analysant la relation entre le taux d'humidité et le confort perçu.
- Identifier les tendances liées aux effets possibles de la ventilation et de l'isolation sur le climat intérieur.

#### **Présentation des résultats :**

- Produire des représentations visuelles (graphiques en barres, courbes) illustrant les variations de température et d'humidité associées aux niveaux de confort observés.
- Élaborer une présentation synthétique mettant en avant les principaux résultats et leurs implications pour l'amélioration du climat intérieur.



**Protocole 2 – Objectif de l'étude** : Étudier l'**influence de la ventilation** sur la **stabilité de la température et de l'humidité** dans différentes pièces.

**Hypothèse** : Les pièces **ventilées** présenteront **moins de fluctuations de température et d'humidité** que les pièces **non ventilées**.

**Durée de l'étude** : Deux semaines, avec une **collecte de données toutes les dix minutes**.

#### **Méthode de collecte des données :**

- Mesures quantitatives : Utiliser un capteur température/humidité dans chaque pièce sélectionnée. Les valeurs numériques relevées seront conservées pour l'analyse.
- Observations environnementales : Noter les éléments pertinents du contexte : type de mur, emplacement des fenêtres, présence ou absence de ventilation active, etc.
- Mesures qualitatives : Observer et consigner la sensation de confort perçue par les occupants.

#### **Utilisation des données :**

- Stockage des données : Enregistrer l'ensemble des données quantitatives dans un fichier CSV, incluant les informations suivantes : date, heure, localisation et conditions environnementales.
- Analyse des données : Calculer les moyennes et médianes de température et d'humidité dans les différentes pièces. Créer des graphiques pour visualiser le niveau de confort et ses liens avec les facteurs environnementaux. Identifier les tendances et analyser les différences notables.
- Comparaison des facteurs : Comparer visuellement le niveau de confort avec les relevés de température et d'humidité, ainsi qu'avec les autres variables enregistrées. Utiliser des graphiques simples pour faire ressortir les tendances générales. Discuter des écarts éventuels observés par rapport à ces tendances.
- Analyse de corrélation : Calculer les coefficients de corrélation entre le niveau de confort perçu et les données de température/humidité. Interpréter ces résultats pour évaluer la force des liens entre les différentes variables, et discuter des facteurs les plus influents sur le confort.

**Présentation des résultats** : Les résultats seront présentés sous forme de **graphiques** illustrant les corrélations observées entre les différentes variables. Le protocole complet pourra être **synthétisé dans une infographie**, à

partager en classe, dans l'établissement ou sur les réseaux sociaux.

### **Préparer le dispositif expérimental**

Les élèves travailleront en petits groupes pour définir les modalités pratiques de leur protocole. Une préparation rigoureuse du dispositif est indispensable pour assurer la fiabilité de la collecte de données. Voici les points à prendre en compte :

- **Emplacement des capteurs :**

- Hauteur optimale : Positionner les capteurs à 1,5 mètre du sol, afin de correspondre à la hauteur d'un individu assis.
- Éloignement des sources de chaleur : Placer les capteurs à au moins 1 mètre des radiateurs, fenêtres ou équipements électroniques.
- Position centrale : Installer les capteurs dans des zones ouvertes, à distance des coins où l'air pourrait être stagnant.

- **Variables de contrôle :**

- Période de mesure : Définir des horaires fixes pour les relevés (par exemple 8 h, 14 h, 20 h).
- Conditions météorologiques : Documenter les conditions extérieures à chaque série de mesures.
- Occupation des pièces : Réaliser les mesures dans des conditions d'occupation comparables d'un jour à l'autre.

- **Intégrité des données :**

- Étalonnage : Vérifier la précision des capteurs avant le début de la collecte.
- Double vérification : Utiliser plusieurs capteurs pour croiser les relevés et assurer leur fiabilité.
- Journal de bord : Tenir un journal détaillé consignait tout événement inhabituel ou toute anomalie susceptible d'influencer les résultats.



Pour vous aider à programmer le capteur approprié, reportez-vous à la **Fiche pratique 1 - Collecter des données avec le capteur de température.**

Le rôle de l'enseignant est d'accompagner les élèves dans ce processus, en les encourageant à réfléchir de manière critique aux sources potentielles d'erreur et aux moyens d'améliorer la fiabilité des mesures. Il guide également les échanges sur l'importance d'une méthodologie rigoureuse dans les démarches scientifiques.



**Approche d'apprentissage active:** Bien que les élèves soient encouragés à concevoir eux-mêmes leur protocole, l'enseignant joue un rôle essentiel en tant que guide pédagogique :

- Veiller à ce que le protocole respecte les normes scientifiques en matière de collecte et d'analyse des données.
- Encourager les élèves à réfléchir à la manière dont leurs hypothèses influencent la conception expérimentale.
- Accompagner les groupes face aux contraintes logistiques, telles que la disponibilité du matériel (capteurs) ou la gestion du temps.

À l'issue de cette étape, les élèves auront élaboré un protocole expérimental structuré et opérationnel, qu'ils pourront mettre en œuvre pour conduire leur investigation.

## Restitution et réflexion

**Connaissances mobilisées :** À l'issue de cette phase, les élèves auront compris comment la température, l'humidité et d'autres facteurs influencent le climat intérieur, et en quoi ces paramètres affectent à la fois le confort thermique et la santé. Ils auront appris à mesurer des indicateurs environnementaux et à les relier à des observations subjectives, afin de dresser un tableau cohérent des conditions intérieures. Ils saisiront également comment ces éléments interagissent pour affecter l'efficacité énergétique et la durabilité des bâtiments.

**Réflexion sur la mise en œuvre en classe :** Durant cette phase, les élèves développent des compétences scientifiques fondamentales : formuler des hypothèses, concevoir des protocoles, organiser une collecte rigoureuse de données et en assurer l'analyse systématique. L'activité encourage un travail collaboratif, les élèves étant amenés à affiner ensemble leurs questions de recherche et à adapter leur méthodologie aux contraintes réelles. Cette étape renforce également leur capacité à prendre des décisions éclairées, en gérant les variables, en assurant la cohérence des mesures, et en répondant aux défis pratiques rencontrés au fil de l'enquête.



### Résultats d'apprentissage généraux :

- **Développement des compétences scientifiques :** Les élèves affineront leur aptitude à formuler des questions de recherche précises et des hypothèses testables, à concevoir et mener des expériences, et à recueillir et interpréter des données, tant quantitatives que qualitatives.
- **Renforcement de la pensée critique :** En identifiant les variables pertinentes, en testant leurs hypothèses et en analysant les résultats, les élèves apprendront à évaluer des preuves et à formuler des conclusions argumentées.
- **Application pratique :** Les élèves mettront en lien leurs découvertes avec des enjeux concrets, tels que l'optimisation du confort intérieur, l'efficacité énergétique ou encore l'amélioration de la qualité de vie dans l'habitat.
- **Connexions interdisciplinaires :** En croisant des notions issues de la thermodynamique et des sciences de la santé, les élèves acquerront une vision systémique du climat intérieur, compris comme un ensemble complexe et interconnecté.

Pour conclure cette phase, les élèves seront invités à explorer une série de questions ouvertes qui favorisent une réflexion approfondie sur leur étude et ses implications à plus grande échelle :

- Comment les résultats expérimentaux peuvent-ils être utilisés pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments ?
- Quels autres facteurs environnementaux, comme la qualité de l'air ou la lumière naturelle, devraient être étudiés pour mieux comprendre le climat intérieur ?
- Quel rôle jouent les matériaux de construction et l'isolation dans les variations observées entre les habitats ?
- Comment le changement climatique pourrait-il influencer les environnements intérieurs, et quelles stratégies faudra-t-il adapter pour maintenir le confort et la santé ?
- En quoi une meilleure compréhension du climat intérieur peut-elle orienter la planification urbaine et la conception des bâtiments de demain ?
- Comment ces principes pourraient-ils être appliqués dans des environnements extrêmes, comme les stations spatiales ou les bases arctiques ?
- Quels bénéfices pour la santé pourrait-on attendre d'un climat intérieur mieux maîtrisé, notamment pour les publics vulnérables comme les enfants ou les personnes âgées ?
- Comment les différences culturelles et régionales, en matière de mode de vie (ouverture des fenêtres, habitudes de chauffage, etc.), influencent-elles la perception du confort ?

Grâce à ce processus réflexif, les élèves seront amenés à analyser de manière critique leurs résultats et à les relier à des enjeux sociétaux plus larges. Ils comprendront ainsi comment la recherche scientifique contribue à répondre aux besoins individuels et collectifs, en lien avec les défis environnementaux et de santé publique.

## Étape 2 – Exploration des matériaux d'isolation thermique – Enquête en laboratoire

**Contexte et description du problème à résoudre à cette étape :** L'isolation thermique joue un rôle essentiel dans le maintien d'un environnement intérieur stable et confortable, tout en permettant de réduire la consommation d'énergie et les coûts associés. L'efficacité isolante d'un matériau dépend de quatre propriétés principales : la conductivité thermique, l'épaisseur, la perméabilité à l'air et la résistance à l'humidité. Mieux comprendre ces caractéristiques permet de faire des choix éclairés pour améliorer à la fois le confort thermique et la performance énergétique des bâtiments. Les bâtiments mal isolés rencontrent deux types de problèmes :

- En période froide, la chaleur s'échappe par les murs, le toit ou les planchers, obligeant le système de chauffage à consommer davantage.
- En période chaude, la chaleur extérieure pénètre plus facilement, ce qui augmente les besoins en refroidissement.

Ces pertes thermiques ont un coût énergétique et financier important, et elles contribuent à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Une isolation efficace est donc un levier essentiel pour répondre aux enjeux de durabilité environnementale et économique.



Les questions suivantes guideront la réflexion et l'investigation des élèves :

- Quelles propriétés physiques font d'un matériau un bon isolant thermique ?
- Comment l'isolation contribue-t-elle à une meilleure régulation de la température et à l'efficacité énergétique ?
- Quels compromis sont à envisager lorsqu'on compare différents matériaux isolants ?
- Comment l'épaisseur d'un matériau influence-t-elle le transfert de chaleur ?
- De quelle manière des facteurs externes comme l'humidité ou les infiltrations d'air affectent-ils les performances d'un isolant ?

**Objectifs d'apprentissage:** Étudier et comprendre les propriétés physiques fondamentales des matériaux isolants, notamment la conductivité thermique, la résistance thermique et leur comportement dans différentes conditions, comme en présence d'humidité. Concevoir et réaliser des expériences pour évaluer et comparer l'efficacité de plusieurs matériaux isolants. Analyser l'impact des choix de matériaux sur les performances thermiques, les aspects environnementaux et les contraintes économiques.

### Conceptualisation

Cette phase permet aux élèves de découvrir les principes scientifiques de l'isolation thermique tout en les incitant à réfléchir de manière critique à l'influence des propriétés des matériaux sur leurs performances en conditions réelles. À travers une démarche expérimentale concrète, ils feront le lien entre les notions théoriques abordées en classe et leurs applications pratiques.

Au cours de cette phase, les élèves exploreront les propriétés fondamentales qui définissent l'efficacité des matériaux isolants et analyseront comment ces caractéristiques contribuent à améliorer les performances thermiques dans des situations concrètes. Par une démarche de recherche et d'analyse systématique, ils étudieront les liens entre la composition, la structure et les capacités isolantes des matériaux.

Cette compréhension approfondie des principes de l'isolation leur permettra de formuler des hypothèses solides et de concevoir des protocoles expérimentaux rigoureux pour tester leurs prédictions en matière de comportement thermique et d'efficacité énergétique. Ces notions de base constituent des éléments structurants pour élaborer des méthodologies expérimentales pertinentes et interpréter les résultats dans une perspective scientifique plus large.

**Conductivité thermique ( $\lambda$ )** : Cette propriété essentielle mesure la vitesse à laquelle la chaleur se propage à travers un matériau, dans des conditions de température données. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau agit comme une barrière efficace au transfert de chaleur, ce qui en fait un bon isolant. Par exemple, l'air immobile possède une conductivité thermique très faible, de l'ordre de 0,024 W/(m·K), ce qui explique pourquoi de nombreux isolants efficaces incorporent des poches d'air emprisonné.

**Résistance thermique (R)** : Ce paramètre exprime la capacité d'un matériau à ralentir le flux de chaleur à travers son épaisseur. Il dépend à la fois de l'épaisseur du matériau et de sa conductivité thermique, selon la relation suivante :

$$R = \frac{\text{Thickness (m)}}{\lambda}$$

où R est la résistance thermique (en m<sup>2</sup>·K/W), e l'épaisseur (en mètres) et  $\lambda$  la conductivité thermique du matériau (en W/(m·K)). Des valeurs de R plus élevées indiquent une meilleure performance isolante.

**Capacité thermique massique (c)** : La capacité thermique massique (c) d'une substance correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une unité de masse de cette substance d'un kelvin. Son unité dans le Système international est le joule par kilogramme et par kelvin (J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>).

**Densité ( $\rho$ )** : La densité correspond à la masse d'une substance rapportée à son volume. Elle est définie mathématiquement comme le rapport entre la masse et le volume de cette substance.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Capacité thermique volumétrique (VHC)** : La capacité thermique volumétrique c d'un matériau correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un kelvin la température d'une unité de volume de ce matériau. Elle est obtenue en divisant la capacité thermique d'un échantillon par son volume. Son unité dans le Système international est le joule par kelvin et par mètre cube (J·K<sup>-1</sup>·m<sup>-3</sup>).

$$VHC = \rho c$$

**Masse thermique** : La masse thermique, ou capacité à stocker la chaleur, est également connue sous le nom de capacité thermique volumétrique (VHC). Elle se calcule en multipliant la capacité thermique massique d'un matériau par sa densité :

- La capacité thermique massique correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour augmenter de 1 °C la température d'un kilogramme de matériau.
- La densité représente la masse par unité de volume, c'est-à-dire la masse contenue dans un mètre cube de matériau.

Plus la VHC est élevée, plus la masse thermique du matériau est importante, ce qui signifie qu'il est capable de stocker davantage d'énergie thermique.

**Effusivité thermique (e)** : L'effusivité thermique d'un matériau, également appelée réactivité thermique, mesure sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est définie comme la racine carrée du produit de la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau et de sa capacité thermique volumétrique (VHC).

$$e = \sqrt{\lambda \rho c}$$

L'effusivité thermique constitue une bonne estimation de l'inertie thermique d'un matériau.

**Perméabilité à l'air** : Cette propriété décrit la facilité avec laquelle l'air traverse la structure d'un matériau. Si un certain niveau de respirabilité peut être utile pour réguler l'humidité, une perméabilité à l'air trop élevée risque de dégrader fortement les performances isolantes, en favorisant la formation de ponts thermiques et en permettant des échanges de chaleur indésirables via des courants de convection.

**Résistance à l'humidité :** Cette propriété essentielle détermine la capacité d'un matériau isolant à maintenir ses performances thermiques lorsqu'il est exposé à des niveaux d'humidité variables ou à de l'eau. Les matériaux présentant une faible résistance à l'humidité peuvent voir leurs capacités isolantes fortement diminuées, car l'eau — dont la conductivité thermique est bien supérieure à celle de l'air — peut remplacer l'air emprisonné qui assure l'effet isolant.

**Impact environnemental :** Cette évaluation globale prend en compte l'ensemble du cycle de vie d'un matériau, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fabrication, son installation, son utilisation et sa fin de vie. Les aspects clés incluent : l'énergie grise (ou énergie intrinsèque), l'empreinte carbone, le potentiel de recyclage ou de biodégradation, ainsi que la contribution du matériau aux pratiques de construction durable et à l'efficacité énergétique des bâtiments.

À travers des **discussions en classe** et des **explications guidées**, les élèves établiront des liens entre les **concepts théoriques** et leurs **applications concrètes**. Ils exploreront des situations du quotidien, telles que : pourquoi certains bâtiments restent confortables plus facilement que d'autres, comment les **conditions météorologiques** influencent le **climat intérieur**, ou encore comment **l'humidité détériore progressivement l'efficacité de l'isolation**. En travaillant en **petits groupes**, les élèves élaboreront des **questions de recherche ciblées et mesurables**, en lien avec leurs intérêts et les ressources disponibles.

### Exemples de questions de recherche

- *Comment différents matériaux isolants se comportent-ils dans des conditions contrôlées, et comment réagissent-ils aux variations de température ?*
- *Comment l'épaisseur de l'isolant influence-t-elle la résistance thermique, et quelle est sa relation avec l'efficacité énergétique ?*
- *Quel est l'effet de l'humidité sur les performances thermiques à long terme des matériaux isolants ?*

En construisant ces questions de recherche, les élèves posent les bases d'une expérimentation rigoureuse. Cela garantit que leur démarche reste **structurée et orientée vers des résultats exploitables** en matière de gestion thermique. Ils formuleront ensuite des **hypothèses expérimentales** visant à prédire les résultats de leurs mesures. Chaque hypothèse devra établir des **relations claires et testables entre des variables**, avec des **prédictions précises et mesurables**, en restant **réaliste à tester** dans les limites des moyens disponibles.

### Exemples d'hypothèses

- *Les matériaux isolants à base de mousse maintiendront les températures internes 20 à 30 % plus efficacement que les isolants en fibres naturelles, en raison de leur structure à cellules fermées et de la présence de poches d'air emprisonné.*
- *Pour chaque augmentation de 1 cm d'épaisseur, la résistance thermique s'accroîtra d'environ 0,5 unité R, selon une relation linéaire jusqu'à atteindre un seuil de saturation.*
- *Les matériaux présentant une perméabilité à l'air élevée ( $> 300 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ ) afficheront une résistance thermique 40 à 50 % inférieure à celle de matériaux faiblement perméables ( $< 50 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ ), dans des conditions identiques.*

Les élèves devront ensuite **identifier et classer les variables** de leurs expériences :

- **Variables indépendantes :** facteurs modifiés au cours de l'étude :
  - Composition du matériau (densité en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , porosité, structure interne)
  - Épaisseur du matériau (en mm, avec tolérances indiquées)
  - Teneur en humidité (exprimée en % en poids)
- **Variables dépendantes :** résultats mesurables :
  - Différences de température ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - Taux de transfert thermique ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
  - Valeurs R calculées à partir des mesures
- **Variables contrôlées :** conditions à maintenir constantes :
  - Intensité de la source de chaleur (puissance fixée)
  - Durée d'exposition (plages horaires normalisées)

- Température ambiante de la pièce (maintenue à  $\pm 0,5$  °C)

Pour approfondir leur compréhension, les élèves relieront leurs résultats à des **problématiques plus larges**, à travers les questions suivantes :

- *Comment les différents isolants influencent-ils la consommation énergétique des bâtiments, et comment évaluer leur impact en termes d'émissions de carbone et de coûts énergétiques ?*
- *Quels critères faut-il prendre en compte pour comparer matériaux synthétiques et naturels (énergie de fabrication, durabilité, élimination, impact environnemental) ?*
- *Comment transposer les résultats de ces expériences à petite échelle pour améliorer les pratiques de construction et la conception architecturale ?*

Ce travail réflexif permet aux élèves de **situer leurs expérimentations dans une perspective de développement durable**, tout en développant leur **pensée critique**. En faisant le lien entre les données recueillies au laboratoire et des **applications concrètes**, ils saisissent mieux **le rôle de la recherche scientifique dans l'évolution des pratiques constructives durables**.

**Rôle de l'enseignant :** L'enseignant joue le rôle de facilitateur et de mentor tout au long de ce processus d'investigation, en guidant les élèves vers une compréhension approfondie, tout en encourageant leur autonomie. Ses responsabilités principales sont les suivantes :



- Veiller à ce que les élèves maîtrisent les concepts fondamentaux et la terminologie spécifique liés à l'isolation thermique.
- Encourager la formulation de questions de recherche précises et testables, ainsi que d'hypothèses clairement structurées.
- Animer des discussions de groupe stimulantes pour développer la pensée critique.
- Fournir des exemples concrets qui relient les notions théoriques à leurs applications pratiques.
- Offrir des retours constructifs pour aider les élèves à affiner la conception de leurs protocoles expérimentaux.

## Investigation par les élèves

Dans cette phase, les élèves mèneront une expérience contrôlée visant à tester leurs hypothèses sur l'efficacité de différents matériaux isolants. L'enseignant accompagnera la construction d'un protocole structuré, garantissant une mesure rigoureuse et une comparaison systématique des propriétés thermiques des matériaux étudiés. Avant d'engager l'expérimentation, les élèves réaliseront une revue ciblée de la littérature afin de :

- Étudier les propriétés physiques clés des matériaux isolants, en particulier la conductivité thermique et la résistance thermique.
- Analyser les recherches existantes sur l'efficacité des isolants, afin d'étayer la conception de leur protocole expérimental.
- Comprendre l'influence de facteurs environnementaux, tels que l'humidité ou l'infiltration d'air, sur les performances thermiques des matériaux.

Ce travail de recherche préalable leur permettra de construire des méthodes expérimentales solides, directement reliées à des enjeux concrets du monde réel.

### Exemple d'application du protocole



**Hypothèse :** L'augmentation de l'épaisseur d'un matériau isolant entraîne une amélioration proportionnelle de sa résistance thermique.

**Mesures à effectuer :** Tester des échantillons de mousse de 1 cm, 2 cm et 3 cm d'épaisseur. Mesurer les différences de température observées à travers chaque échantillon, dans des conditions identiques. Tracer les résultats pour analyser la relation entre l'épaisseur du matériau et sa résistance thermique.

**Préparer le dispositif expérimental.** Cette expérience a pour but de mesurer la capacité de différents matériaux à résister au transfert de chaleur dans des conditions expérimentales contrôlées.

**Objectif : Comparer la résistance thermique de plusieurs matériaux isolants en fonction de leur nature, leur épaisseur et leur réaction à l'humidité.**

### Matériel nécessaire :

- Échantillons de matériaux isolants (mousse, carton, laine, feuille d'aluminium)
- Source de chaleur (lampe de bureau ou élément chauffant électrique)
- Capteurs de température ou thermomètres
- Boîte isolée ou maquette de maison
- Chronomètre ou minuteur
- Règle ou pied à coulisse

### Procédure

- **Mesures de référence :** Relever les températures ambiantes et celles de la source de chaleur. Laisser tous les échantillons atteindre l'équilibre thermique avec l'environnement.
- **Test des matériaux :** Placer un matériau isolant entre la source de chaleur et le capteur. Surveiller les températures de part et d'autre pendant 10 minutes. Répéter l'opération pour chaque matériau en conservant un placement et une durée constants.
- **Variations d'épaisseur :** Tester chaque matériau aux épaisseurs de 1 cm, 2 cm et 3 cm. Relever les différences de température pour chaque configuration.
- **Exposition à l'humidité (facultatif) :** Tester certains échantillons humides pour observer l'effet de l'humidité sur leurs performances isolantes.
- **Variables de contrôle :** Maintenir une puissance constante de la source de chaleur. Garder des distances fixes entre la source, le matériau et le capteur de température.
- **Collecte et organisation des données :** Toutes les mesures seront consignées dans un **tableau structuré**, permettant une comparaison claire des performances selon les matériaux, les épaisseurs et les conditions d'humidité :

Matériel	Épaisseur (cm)	Niveau d'humidité	Température initiale (°C)	Température finale (°C)	Différence de température (°C)	Observations
Mousse	1	Sec	20	30	10	Léger, facile à couper
Laine	2	Mouillé	20	33	13	Absorbe l'eau rapidement

### ● Analyse et interprétation des données :

1. Calcul de la résistance thermique (R) : Utiliser les données recueillies pour calculer la résistance thermique de chaque matériau testé. Comparer les résultats afin d'identifier les matériaux offrant les meilleures performances isolantes.
2. Visualisation des résultats : Créer des représentations graphiques (diagrammes, courbes) illustrant les écarts de température mesurés ainsi que les valeurs de résistance thermique. Mettre en évidence les tendances liées à l'épaisseur des matériaux et les effets observés de l'humidité.
3. Interprétation des résultats : Déterminer quels matériaux agissent comme les barrières les plus efficaces contre le transfert de chaleur. Comparer les résultats obtenus aux hypothèses formulées au départ, et discuter des éventuels écarts ou confirmations.

### Modèle miniature

Pour donner davantage de sens et de réalisme à l'expérimentation, les élèves peuvent utiliser une maquette de maison miniature. Il n'est pas nécessaire de concevoir un modèle complexe : il est tout à fait possible de s'appuyer sur des solutions existantes, simples et peu coûteuses. Dans ce contexte, une mini-serre constitue un choix particulièrement adapté. Ses parois transparentes permettent d'observer visuellement la sensibilité du modèle aux variations de température, notamment lorsqu'il est exposé à une source de chaleur simple comme une lampe de bureau. La construction automatisée d'une mini-serre étant déjà intégrée au programme de technologie du collège (France), plusieurs exemples exploitables et adaptables sont disponibles pour accompagner ce protocole expérimental.



- [ÄKERBÄR Serre - intérieur/extérieur/anthracite 65 cm](#)
- [Pack Serre Autonome sans interface de programmation](#)
- [Maquette mini-serre en kit](#)
- [Projet de Sciences et Technologie cycle 3](#)

Pour ce projet, un modèle simple et économique est idéal. Des kits de base sont disponibles pour environ 10 € et répondent à toutes les exigences du protocole : [Maquette la Serre à assembler complètement](#). Vous pouvez construire le kit à moindre coût en utilisant des matériaux facilement disponibles dans les magasins de bricolage. Les instructions de fabrication sont disponibles ici : [https://technologieservices.fr/media/akeneo\\_connector/asset\\_files/N/o/Notice\\_TS\\_dossier\\_technique\\_KT5016\\_270203\\_FR\\_bb92.pdf](https://technologieservices.fr/media/akeneo_connector/asset_files/N/o/Notice_TS_dossier_technique_KT5016_270203_FR_bb92.pdf).

La conception à base de forme triangulaire et rectangulaire simplifie l'isolation. Grâce à l'ouverture sur toute la largeur, les matériaux isolants peuvent être facilement installés sur les surfaces intérieures et extérieures.

**Évaluer la validité scientifique des expériences.** La validité scientifique est un point essentiel à aborder avec les élèves. Il est important qu'ils prennent conscience des limites de leurs expérimentations et qu'ils apprennent à les identifier et les corriger. Pour cela, l'enseignant peut guider chaque groupe à travers des questions ciblées, portant sur les sources d'erreur fréquentes et les moyens de les anticiper ou de les documenter.

### Protocole de dépannage structuré

- **Évaluer et ajuster systématiquement le placement des capteurs** en cas d'incohérences dans les relevés, en **documentant chaque ajustement** et son impact sur les mesures.
- **Réaliser une série de mesures répétées**, à intervalles réguliers, pour établir la **fiabilité des résultats** et identifier d'éventuelles **erreurs systématiques**.
- **Noter les conditions environnementales** susceptibles d'influencer les mesures, telles que les **fluctuations de température ambiante** ou la présence de **courants d'air**.

### Mesures rigoureuses de fiabilité

- Effectuer **au moins cinq essais** pour chaque configuration de matériau afin d'obtenir une **valeur statistiquement significative** et de calculer un **écart type représentatif**.
- Utiliser **plusieurs échantillons issus de lots différents** d'un même matériau pour tenir compte des **variations de fabrication**.
- **Documenter toute déviation** par rapport au protocole initial, ainsi que **leur impact potentiel** sur l'interprétation des résultats.

### Procédures de contrôle qualité

- **Étalonner tous les instruments de mesure** avant chaque session expérimentale.
- Mettre en œuvre des **méthodes de validation croisée**, en demandant à différents membres du groupe de **vérifier indépendamment les relevés**.
- Définir des **critères clairs** pour repérer et traiter les **valeurs aberrantes** (outliers), en expliquant les décisions prises concernant leur inclusion ou leur exclusion.



**Rôle de l'enseignant :** L'enseignant agit comme facilitateur tout au long de cette phase. Il accompagne les élèves dans l'ajustement de leurs protocoles expérimentaux, afin d'en assurer la cohérence méthodologique et la rigueur scientifique. Il encourage également une pensée critique, en posant des questions ciblées sur les sources potentielles d'erreur ou les limites de l'expérimentation. Enfin, il anime les échanges collaboratifs afin d'aider les élèves à visualiser, analyser et interpréter leurs résultats de manière structurée.

À l'issue de cette phase, les élèves auront mené une expérimentation concrète, analysé leurs données, et acquis une compréhension approfondie des facteurs qui déterminent l'efficacité thermique des matériaux isolants. Cette étude les prépare à transférer leurs apprentissages vers des contextes réels, comme la conception de solutions éco-énergétiques ou l'amélioration de l'isolation dans des situations pratiques.

## Restitution et réflexion

**Connaissances mobilisées :** Les élèves ont acquis une compréhension claire du fonctionnement des matériaux isolants, en se concentrant sur des propriétés essentielles telles que la conductivité thermique, la résistance, l'épaisseur et les effets de l'humidité. Ils ont appris à identifier comment ces paramètres interagissent pour améliorer l'efficacité énergétique, le confort thermique et réduire l'impact environnemental. Grâce aux expérimentations, les élèves ont développé des compétences pratiques pour mesurer les performances thermiques et vérifier leurs hypothèses. Cette mise en situation leur a permis de voir comment les méthodes scientifiques peuvent être appliquées à des problématiques concrètes.

**Réflexion sur la mise en œuvre en classe :** À travers des expériences pratiques et des analyses collaboratives, les élèves ont renforcé leur capacité à concevoir et affiner des protocoles expérimentaux précis et cohérents ; collecter et organiser des données quantitatives de manière systématique ; analyser et visualiser les résultats afin d'identifier des tendances significatives. Cette phase souligne la dimension collaborative de la recherche scientifique, les élèves ayant travaillé en groupe pour partager les responsabilités, comparer leurs observations et formuler des conclusions communes. En affrontant des difficultés liées à la variabilité des mesures ou à l'influence de l'environnement, ils ont développé leur esprit de résolution de problèmes et leur rigueur méthodologique.



### Résultats d'apprentissage généraux :

- **Développement des compétences scientifiques :** Les élèves ont renforcé leur capacité à concevoir et conduire des expériences, en maîtrisant la gestion des variables et la mesure des résultats. Ils ont appliqué des formules mathématiques pour calculer des propriétés telles que la résistance thermique, et ont appris à analyser leurs données de manière rigoureuse pour en tirer des conclusions fondées sur des preuves.
- **Pensée critique :** Ils ont évalué les compromis entre performance, coût et impact environnemental, développant une approche raisonnée de la comparaison des matériaux.
- **Applications pratiques :** Les élèves sont en mesure de transférer leurs apprentissages à des situations concrètes, telles que l'efficacité énergétique des logements ou la conception de bâtiments durables.
- **Ouverture sur des enjeux plus larges :** Ils comprennent comment la science des matériaux s'inscrit dans une démarche de transition écologique, en lien avec les Objectifs de Développement Durable, notamment : ODD 7 – Énergie propre et d'un coût abordable et ODD 13 – Lutte contre les changements climatiques

Pour conclure cette phase, les élèves participeront à une discussion réflexive guidée, fondée sur des questions ouvertes qui leur permettront d'explorer les implications plus larges de leur étude :

- Comment les résultats expérimentaux confirment-ils ou remettent-ils en question les hypothèses initiales ?

- Au-delà des performances thermiques, quels critères — tels que la durabilité ou l'impact environnemental — devraient orienter le choix des matériaux isolants ?
- Comment ces résultats peuvent-ils être appliqués pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments ?
- Quels compromis apparaissent entre performance, coût et durabilité, notamment entre les matériaux isolants naturels et synthétiques ?
- En quoi les différences de climat ou les types de bâtiments influencent-ils les exigences en matière d'isolation ?
- Quelles technologies d'isolation émergentes pourraient répondre aux défis actuels liés à l'humidité ou au coût ?
- Comment une isolation performante contribue-t-elle à la réduction de la consommation d'énergie et à la lutte contre le changement climatique ?
- Quelles autres propriétés matérielles devraient être prises en compte dans le choix de matériaux durables pour la construction ?

Cette phase permet aux élèves de développer à la fois des connaissances scientifiques solides et des compétences analytiques transversales, qu'ils pourront mobiliser dans des contextes concrets : évaluation de l'isolation de leur propre habitation, participation à la conception de structures à haute performance énergétique, ou encore réflexion sur les enjeux globaux de durabilité. Ils apprennent ainsi à considérer l'isolation comme un élément d'un système intégré, où se combinent confort, efficacité énergétique et gestion responsable des ressources environnementales.

## Étape 3 – Application des connaissances à des contextes réels

Au cours de cette phase, les élèves mettront en application leur compréhension des principes de l'isolation dans des situations concrètes. Cette étape fait le lien entre les résultats expérimentaux de la phase 2 et des applications pratiques, en leur permettant d'analyser, évaluer et proposer des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.



**Contexte et description du problème à résoudre à cette étape :** Les bâtiments figurent parmi les plus grands consommateurs d'énergie à l'échelle mondiale, en grande partie à cause des systèmes de chauffage et de climatisation. Lorsque l'isolation est insuffisante, la chaleur s'échappe en hiver et pénètre en été, ce qui entraîne une augmentation de la consommation énergétique, des coûts plus élevés pour les usagers et une hausse des émissions de gaz à effet de serre. Une isolation efficace est donc un levier essentiel pour favoriser une construction durable et un mode de vie économe en énergie. À l'inverse, une isolation inadéquate impacte non seulement l'environnement, mais aussi la santé et le confort des occupants. Les bâtiments mal isolés présentent souvent des températures irrégulières, des courants d'air ou encore de la condensation, des conditions susceptibles de provoquer de l'inconfort, voire des troubles respiratoires liés à l'humidité et à la moisissure. Comprendre où et pourquoi les pertes de chaleur se produisent est indispensable pour répondre à ces enjeux. Dans cette phase, les élèves appliqueront leurs résultats de laboratoire à des contextes réels. En analysant les performances thermiques de leur logement ou de leur établissement scolaire, ils seront en mesure d'identifier les faiblesses de l'isolation et de proposer des solutions concrètes. Cette approche permet d'illustrer comment les principes scientifiques peuvent répondre à des problématiques quotidiennes, tout en dotant les élèves des connaissances nécessaires pour formuler des recommandations argumentées en matière d'efficacité énergétique.

**Objectifs d'apprentissage :** Utiliser des outils de mesure, tels que les caméras thermiques ou les capteurs de température, pour identifier et analyser les zones de perte de chaleur dans des environnements réels. Évaluer l'efficacité de l'isolation existante dans les maisons ou les bâtiments scolaires, en comparant les données de terrain aux résultats expérimentaux obtenus en laboratoire. Proposer des stratégies d'amélioration réalistes et abordables pour renforcer l'isolation et améliorer l'efficacité énergétique globale.

### Questions clés à explorer

Cette étape invite les élèves à établir des liens critiques entre leurs résultats expérimentaux et les défis concrets liés à l'efficacité énergétique des bâtiments. À travers cette mise en perspective, ils sont amenés à se poser des questions clés :

- Quelles zones de ma maison ou de mon école présentent les plus fortes pertes de chaleur, et quelles en sont les causes possibles (ponts thermiques, matériaux, orientation, etc.) ?
- Comment l'efficacité de l'isolation observée sur le terrain se compare-t-elle aux performances des matériaux testés en laboratoire ?
- Quelles solutions concrètes pourraient être mises en œuvre pour améliorer l'isolation et réduire la consommation énergétique dans ces espaces ?

### Conceptualisation

Au cours de cette phase, les élèves mèneront une analyse approfondie de la performance thermique réelle des bâtiments, en mobilisant leur compréhension des principes d'isolation. Cette enquête de terrain leur permettra de relier les connaissances théoriques acquises aux applications concrètes, en confrontant leurs résultats expérimentaux aux conditions réelles. Pour conduire cette analyse de manière rigoureuse et en tirer des conclusions solides, les élèves devront explorer en détail plusieurs concepts interdépendants :

**Imagerie thermique et identification des pertes de chaleur.** À l'aide de caméras thermiques et de thermomètres infrarouges de précision, les élèves apprendront à détecter et à analyser les variations de température sur les surfaces des bâtiments. Ces outils permettent de visualiser les zones critiques de perte de chaleur, notamment au niveau des murs insuffisamment isolés, toits non étanches, fenêtres anciennes ou portes mal ajustées. Les élèves développeront une capacité à interpréter des schémas thermiques complexes, à lire les gradients de température, et à identifier précisément les zones de déperdition énergétique.

**Ponts thermiques et éléments structurels.** Les élèves étudieront le phénomène des ponts thermiques, ces zones localisées dans la structure des bâtiments où le transfert de chaleur est accéléré en raison de ruptures dans la continuité de l'isolation ou de matériaux hautement conducteurs. Ils analyseront l'impact thermique d'éléments tels que les châssis métalliques, structures en acier, jonctions bétonnées ou liaisons plancher-mur, et comprendront comment ces détails architecturaux influencent l'efficacité globale de l'enveloppe thermique.

**Efficacité énergétique et mécanismes de transfert de chaleur.** Par une approche comparative avec leurs résultats de laboratoire (phase 2), les élèves examineront comment les différents modes de transfert thermique — conduction, convection et rayonnement — se manifestent dans des bâtiments réels. Ils apprendront à mettre en relation les propriétés mesurées en laboratoire (conductivité, résistance, épaisseur) avec les modèles observables de déperdition, développant ainsi une compréhension plus fine de la dynamique thermique des bâtiments.

**Analyse coûts-bénéfices des améliorations.** Les élèves mèneront une évaluation complète des solutions d'amélioration de l'isolation, intégrant des critères allant au-delà des seules performances thermiques. Cela inclut l'analyse des coûts d'installation, des économies d'énergie attendues, de la réduction des émissions de carbone, ainsi que des effets sur le confort des occupants. Ils apprendront à estimer des périodes de retour sur investissement, à prendre en compte la durabilité des matériaux, les contraintes d'entretien, ainsi que les conditions climatiques locales dans leur évaluation.

### **Questions de recherche et cadre d'investigation**

Grâce à des discussions collaboratives et à une analyse approfondie, les élèves formuleront des questions de recherche complètes et testables, qui constitueront le point de départ de leur enquête. Ces questions devront à la fois permettre une évaluation précise de l'efficacité actuelle de l'isolation et ouvrir la voie à une exploration détaillée des stratégies d'amélioration possibles. Elles seront conçues de manière à produire des données quantifiables et à générer des informations significatives pour appuyer leurs conclusions.

#### **Exemples de questions de recherche**



- Quelles sont les principales zones de déperdition thermique dans les bâtiments résidentiels et scolaires, et quels facteurs spécifiques — structurels, matériels ou environnementaux — contribuent à ces inefficacités énergétiques ?
- Comment les performances thermiques des systèmes d'isolation existants se comparent-elles à celles des matériaux testés en laboratoire lors de la phase expérimentale précédente, notamment en termes de rétention et de transfert de chaleur ?
- Quelles interventions efficaces et économiquement viables pourraient être mises en œuvre pour améliorer l'isolation des zones problématiques identifiées, en s'appuyant sur des données mesurées et en prenant en compte à la fois les bénéfices immédiats et à long terme ?

Ces questions soigneusement formulées constituent une base solide pour une démarche d'investigation rigoureuse, en permettant aux élèves d'établir des liens significatifs entre leurs résultats expérimentaux et leurs applications concrètes, tout en développant leurs capacités d'analyse critique.

À partir de ce cadre, les élèves formuleront des hypothèses détaillées, fondées sur leurs observations préliminaires et les données recueillies précédemment, en définissant des prédictions spécifiques et testables.

**Favoriser la pensée critique et des liens plus larges :** Pour approfondir leur compréhension, les élèves seront amenés à explorer les liens entre leurs découvertes et des enjeux sociétaux plus larges. Ces réflexions leur permettront d'élargir leur analyse au-delà du cadre expérimental immédiat :



- *Comment les améliorations de l'isolation influencent-elles l'empreinte carbone et les coûts énergétiques d'un bâtiment sur le court et le long terme ?*
- *Quels compromis apparaissent entre les matériaux isolants naturels et synthétiques, en termes de coût, de performance thermique et d'impact environnemental ?*
- *De quelle manière le climat local et la situation géographique orientent-ils les choix de stratégies d'isolation dans une logique d'adaptation et de performance énergétique ?*

Ces questions ciblées encouragent les élèves à adopter une perspective plus globale, en les invitant à situer leur travail dans le cadre du développement durable et de l'action climatique.

### **Exemples d'hypothèses représentatives**

- *Les zones présentant des ponts thermiques visibles afficheront des taux de perte de chaleur de 40 à 60 % supérieurs à ceux des sections adjacentes présentant une isolation continue, en particulier lors de pics de contraste thermique.*
- *Les parties de bâtiment construites avant l'adoption de normes modernes d'isolation présenteront une efficacité thermique inférieure de 30 à 50 % par rapport aux extensions plus récentes, principalement en raison de la dégradation des matériaux et de méthodes d'installation obsolètes.*
- *L'ajout stratégique de couches supplémentaires d'isolant entraînera une réduction mesurable des pertes de chaleur estimée entre 20 et 35 %, selon le type de matériau utilisé et la qualité de la pose.*

Chaque hypothèse doit établir une relation explicite entre :

- des variables indépendantes clairement définies (par exemple, type de matériau isolant, année de construction, épaisseur de l'isolant) ;
- des variables dépendantes mesurables (telles que les taux de perte de chaleur, les différences de température observées) ;
- et un ensemble de variables contrôlées rigoureusement maintenues constantes : conditions environnementales, durée des mesures, température ambiante, etc.



**Rôle de l'enseignant :** L'enseignant jouera un rôle clé en guidant les élèves dans l'élaboration de leurs questions de recherche, en veillant à ce qu'elles soient précises, mesurables et en adéquation avec les objectifs de l'enquête. Il accompagnera également le développement d'hypothèses testables, en aidant les élèves à établir des liens clairs entre les variables étudiées et les performances thermiques observées. Enfin, il animera des discussions constructives permettant aux élèves de relier leur investigation aux enjeux scientifiques et sociaux du monde réel.

### **Investigation par les élèves**

Au cours de cette phase d'investigation, les élèves mèneront un **examen approfondi des performances thermiques** de leur domicile ou de leur établissement scolaire, en s'appuyant sur l'utilisation **d'outils de diagnostic avancés**, tels que des **caméras thermiques**, des **capteurs environnementaux** et des **thermomètres infrarouges de précision**.

Cette enquête leur permettra de **mettre à l'épreuve leurs hypothèses** de manière systématique, en identifiant et en documentant rigoureusement **les zones de forte déperdition thermique**. Ils analyseront également **comment différents matériaux et configurations d'isolation** influencent l'**efficacité énergétique globale** du bâtiment étudié.

À travers ce travail, les élèves acquerront une **expérience concrète des méthodes de diagnostic thermique** utilisées dans des contextes professionnels. Ils renforceront par ailleurs leur compréhension de la manière dont les **principes théoriques du transfert de chaleur** s'appliquent dans des **situations réelles de construction**.

### Exemple d'application du protocole

**Hypothèse :** Les murs présentant des ponts thermiques visibles afficheront des pertes de chaleur plus importantes que les murs bénéficiant d'une isolation uniforme.



**Mesures à effectuer :** Les élèves utiliseront une caméra thermique pour analyser les parois du bâtiment, en ciblant particulièrement les zones susceptibles de comporter des ponts thermiques. Ils mesureront les différences de température à ces points spécifiques, puis compareront ces résultats avec ceux de sections bien isolées. À partir de ces données, ils calculeront la perte de chaleur relative et formuleront des recommandations d'amélioration pour renforcer l'isolation dans les zones problématiques.

### Préparation de l'enquête

#### Outils et matériaux nécessaires :

- **Caméra thermique** ou **thermomètre infrarouge**
- **Capteurs de température et d'humidité**
- **Plan d'étage du bâtiment** ou **croquis simplifié** pour localiser et cartographier les zones analysées
- **Carnet de terrain** ou **appareil numérique** pour l'enregistrement des observations

**Configuration préalable à l'enquête :** Avant de commencer, il est essentiel que les élèves soient formés à l'utilisation sécurisée et précise des outils thermiques. Une activité d'étalonnage peut être proposée : les élèves comparent, par exemple, la température d'un mur exposé au soleil à celle d'un mur à l'ombre, afin de vérifier la fiabilité des mesures et de se familiariser avec les variations de température en fonction de l'environnement.



Pour vous aider à utiliser le capteur approprié, reportez-vous à la section **Fiche pratique 2 - Utilisation de caméras thermiques pour l'analyse de l'isolation.**

### Étapes à suivre pour mener l'enquête

- **Identifier les emplacements de test :** Les élèves détermineront les emplacements stratégiques à tester, en se concentrant sur les sources fréquentes de perte de chaleur, telles que les fenêtres, portes, murs extérieurs, toitures et planchers.
- **Capture de données thermiques :** À l'aide de caméras thermiques ou de thermomètres infrarouges, les élèves enregistreront les variations de température à chaque point d'observation. Ils mettront en évidence la présence de ponts thermiques, de courants d'air ou de zones faiblement isolées, en capturant des images thermiques ou des relevés chiffrés précis.
- **Mesurer les conditions environnementales :** Ils consigneront la température extérieure, l'exposition au soleil et les conditions de vent au moment de l'enquête. Toute activité du système de chauffage ou de climatisation (CVC) sera également notée, car elle peut influencer les relevés effectués à l'intérieur.
- **Observations du document :** Les résultats seront consignés sur un plan annoté ou dans un tableau de relevés, afin de cartographier visuellement les zones de perte thermique et de faciliter l'analyse ultérieure.

Emplacement	Température intérieure (°C)	Température extérieure (°C)	Différence de température (°C)	Observations
Mur du salon	18	5	13	Perte de chaleur visible par pont thermique
Cadre de fenêtre	15	5	10	Courants d'air détectés, mauvaise isolation observée

- **Se rapporter aux résultats expérimentaux :** Les élèves compareront les performances thermiques observées sur le bâtiment avec celles des matériaux testés lors de la phase expérimentale (étape 2). Cette analyse leur permettra de discuter de la manière dont des propriétés spécifiques des matériaux — telles que l'épaisseur, la conductivité thermique ou la résistance à l'humidité — peuvent expliquer les écarts de performance constatés sur le terrain.

### **Analyse et interprétation**

- **Évaluer les performances thermiques :** Les élèves identifieront les zones présentant les pertes de chaleur les plus importantes, en analysant les facteurs contributifs tels qu'une isolation insuffisante ou la présence de ponts thermiques. Ils détermineront dans quelle mesure ces résultats correspondent aux observations expérimentales réalisées lors de l'étape 2, en mettant en relation les données mesurées et les propriétés des matériaux étudiés.
- **Proposer des améliorations :** Sur la base de leurs observations, les élèves formuleront des recommandations concrètes pour réduire les pertes de chaleur. Ces propositions pourront inclure, entre autres :
  - L'**ajout de couches d'isolant** sur les murs, les planchers ou les toitures ;
  - Le **cafeutrage des interstices** autour des fenêtres et des portes ;
  - Le **remplacement des menuiseries** par des **fenêtres à double vitrage** ou à **haut rendement énergétique**.
- **Visualiser les résultats :** Pour présenter leurs conclusions, les élèves créeront des cartes thermiques ou des images annotées, mettant en évidence les zones critiques identifiées. Ils utiliseront également des graphiques comparatifs pour illustrer l'efficacité thermique de différentes zones du bâtiment (par exemple : murs isolés vs murs non isolés), facilitant ainsi l'interprétation des données.

#### **Défis et considérations de validité dans l'évaluation thermique**

- **Défis de mesure et variables environnementales :** Les élèves devront prendre en compte l'interaction complexe des variables environnementales qui influencent les relevés thermiques. Parmi celles-ci figurent les fluctuations quotidiennes de température, les variations saisonnières, l'exposition au soleil variable selon l'heure de la journée, ainsi que l'influence dynamique des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) sur la distribution de la température intérieure. Ces facteurs peuvent altérer la précision des mesures et doivent être soigneusement contrôlés ou intégrés à l'analyse des résultats.
- **Assurer la cohérence expérimentale et la fiabilité des données :** Il est essentiel de mettre en œuvre des protocoles de mesure standardisés, en réalisant les relevés à des moments réguliers, en maintenant, dans la mesure du possible, des conditions environnementales constantes, et en définissant des intervalles de mesure clairs. Cette approche systématique permet de réduire la variabilité des données et d'assurer leur comparabilité à travers les différents lieux et périodes d'observation.
- **Reconnaître les limites techniques et pratiques :** Les élèves seront également amenés à identifier les contraintes qui peuvent limiter la portée de leur étude : accès partiel à certaines zones du bâtiment, précision variable des instruments de mesure, étalonnage imparfait, interférences liées aux matériaux de construction, ou encore difficulté à maintenir des conditions stables tout au long de la période d'enquête. La prise de conscience de ces limites contribue à l'élaboration de protocoles plus robustes et permet d'interpréter les résultats avec discernement, en tenant compte des incertitudes inhérentes à toute investigation en environnement réel.



À l'issue de cette étude, les élèves auront acquis une compréhension approfondie des performances thermiques de leur bâtiment, ainsi que des pistes d'amélioration concrètes pour optimiser son isolation. Cette activité de terrain renforce le lien entre théorie et pratique, tout en préparant les élèves à formuler des recommandations éclairées en matière d'efficacité énergétique et de construction durable.

## Restitution et réflexion

**Connaissances mobilisées :** À l'issue de cette phase, les élèves auront acquis une compréhension approfondie de l'application des principes d'isolation dans des contextes réels. Ils auront appris à identifier et analyser les inefficacités thermiques dans les bâtiments, à interpréter les données issues de l'imagerie thermique et des capteurs et à relier leurs observations à des enjeux plus larges d'efficacité énergétique. Ils seront également capables de reconnaître les limites pratiques de la mise en œuvre de ces principes, en tenant compte de facteurs tels que la disponibilité des matériaux, les contraintes structurelles ou encore les considérations budgétaires.

### Réflexion sur la mise en œuvre en classe :

Cette phase renforce les compétences des élèves dans plusieurs domaines clés :

- Application des connaissances théoriques : Ils apprennent à établir des liens concrets entre les résultats expérimentaux issus de la phase 2 et leurs observations sur le terrain.
- Développement de compétences techniques : Ils manipulent des outils de mesure comme les caméras thermiques ou les capteurs environnementaux, en les mobilisant dans des analyses de performance.
- Collaboration et résolution de problèmes : En travaillant en groupe, les élèves proposent des solutions réalistes et pertinentes pour améliorer l'isolation, en prenant en compte les contraintes du monde réel.



Grâce à cette démarche, les élèves consolident leur esprit critique et développent leur capacité à mobiliser les sciences dans l'amélioration de leur cadre de vie.

### Résultats d'apprentissage généraux :

1. Compétences scientifiques : Les élèves affinent leur capacité à collecter, traiter et interpréter des données issues d'environnements réels.
2. Pensée critique : Ils apprennent à évaluer les compromis entre efficacité, coût et impact environnemental, dans le cadre d'une démarche de résolution de problèmes appliquée.
3. Applications pratiques : Les élèves sont en mesure de relier leurs observations à des objectifs sociétaux, comme la réduction de la consommation d'énergie et la transition écologique des bâtiments.
4. Ouverture sur des enjeux globaux : Ils prennent conscience de la manière dont des actions locales d'amélioration de l'isolation contribuent aux efforts mondiaux en faveur du développement durable. Cette réflexion s'inscrit dans le cadre des Objectifs de Développement Durable, en particulier l'ODD 7 (Énergie propre et d'un coût abordable), l'ODD 11 (Villes et communautés durables) et l'ODD 13 (Lutte contre les changements climatiques).

Pour conclure cette phase, les élèves participeront à une discussion guidée autour de questions ouvertes, conçues pour encourager une réflexion critique approfondie sur leur étude et ses implications élargies. Cette discussion favorisera la mise en lien entre leurs observations de terrain, les principes scientifiques étudiés et les enjeux de durabilité. Les questions suivantes pourront être proposées à la classe :

- Comment les zones de plus grande perte de chaleur dans votre maison ou votre école correspondent-elles à vos hypothèses initiales ?
- Qu'est-ce qui vous a surpris dans la performance thermique de votre bâtiment ?
- Comment les matériaux et les conditions que vous avez observés se comparent-ils aux résultats de l'étape 2 ?
- Quelles améliorations rentables pourraient réduire considérablement les pertes de chaleur et améliorer l'efficacité énergétique ?
- Comment les climats régionaux et les codes du bâtiment influencent-ils les besoins et les stratégies d'isolation ?
- Quel rôle les innovations en matière de technologie d'isolation peuvent-elles jouer pour relever les défis énergétiques mondiaux ?
- Comment vos résultats peuvent-ils être mis à l'échelle pour éclairer les pratiques de construction durables dans votre communauté ?

Cette phase offre aux élèves une plateforme d'intégration interdisciplinaire, leur permettant de comprendre comment la science, l'ingénierie et les politiques publiques s'articulent pour résoudre des problèmes concrets liés à l'énergie et à la durabilité. En prenant conscience de l'importance de l'isolation dans la réduction des pertes d'énergie et l'amélioration du confort intérieur, les élèves seront mieux préparés à contribuer à des réflexions collectives sur la transition énergétique, l'urbanisme et la résilience climatique.

Leurs découvertes pourront également déboucher sur des projets concrets, tels que :

- la création d'un plan d'amélioration de l'isolation pour leur établissement ou leur domicile ;
- la conception collaborative de bâtiments économes en énergie dans le cadre d'un projet interdisciplinaire ;
- la valorisation de leurs résultats dans une campagne de sensibilisation à destination du grand public sur les enjeux de l'isolation et de l'efficacité énergétique.

## Étape 4 – Cartographie collaborative des pertes de chaleur urbaines

Dans cette dernière phase, les élèves seront amenés à étendre leur apprentissage au-delà de l'échelle du bâtiment individuel, en inscrivant leur démarche dans un contexte territorial plus large. En menant un projet collaboratif de cartographie thermique, ils analyseront les schémas de perte de chaleur observables dans leur quartier ou leur ville. Cette activité vise à renforcer leur compréhension des enjeux collectifs liés à l'isolation et à l'efficacité énergétique. Elle permet également aux élèves de contribuer activement à la sensibilisation de leur communauté, en produisant des données visuelles et argumentées susceptibles d'alimenter des recommandations concrètes à destination des habitants, des acteurs locaux ou des décideurs publics.

**Contexte et description du problème à résoudre à cette étape :** Les pertes de chaleur des bâtiments ne relèvent pas uniquement d'enjeux individuels : elles constituent un défi collectif qui impacte la consommation d'énergie, la durabilité environnementale et les conditions de vie en milieu urbain. Dans les villes, une isolation défailante accroît les besoins en chauffage et en climatisation, entraînant une hausse des émissions de gaz à effet de serre. Cette situation contribue également à l'îlot de chaleur urbain, où les infrastructures accumulent la chaleur plus intensément que les zones rurales, en grande partie à cause de matériaux émissifs et d'une isolation insuffisante. Comprendre les déperditions thermiques à l'échelle locale est essentiel pour élaborer des stratégies ciblées en matière d'efficacité énergétique. L'identification des zones à forte perte permet aux collectivités de prioriser des actions telles que la rénovation thermique de bâtiments anciens, le remplacement des fenêtres ou l'adoption de normes de construction durables. Cette démarche permet non seulement de limiter le gaspillage énergétique, mais aussi de favoriser une justice sociale accrue, l'isolation insuffisante touchant souvent les publics les plus vulnérables, confrontés à des coûts énergétiques élevés et à un confort thermique réduit. Dans cette phase, les élèves élargiront leur champ d'étude au paysage urbain. À travers des « promenades thermiques » encadrées, ils collecteront des données de température sur différents bâtiments à l'aide de caméras thermiques. Ces observations alimenteront une carte collaborative représentant les zones de perte thermique dans leur quartier ou leur ville. Lorsque possible, ils compareront ces relevés au niveau du sol avec des images thermiques aériennes afin d'identifier les tendances à plus grande échelle. Ce processus mettra en évidence le rôle de l'action collective et de la démarche scientifique dans la lutte contre les pertes de chaleur, tout en renforçant la compréhension des liens entre science, politique publique et durabilité environnementale.



**Objectifs d'apprentissage :** Guider les élèves dans le développement d'analyses avancées des pertes de chaleur en milieu urbain, en leur permettant d'établir des connexions pertinentes entre les données locales et les enjeux environnementaux globaux, tout en intégrant les dimensions sociales et économiques du problème. Favoriser le développement de compétences en recherche collaborative, à travers la collecte, l'interprétation et la représentation de données issues de la cartographie thermique, en soulignant l'importance d'une documentation rigoureuse et de techniques de visualisation efficaces pour comprendre la répartition de la chaleur à l'échelle urbaine. Renforcer la capacité des élèves à formuler une analyse critique nuancée, en évaluant et en proposant des solutions communautaires qui tiennent compte à la fois des besoins immédiats en matière d'efficacité énergétique et des objectifs de durabilité à long terme.

### Questions clés à explorer

- Quels bâtiments ou zones de notre quartier présentent les pertes d'énergie thermique les plus importantes, et quels facteurs architecturaux, structurels ou environnementaux expliquent ces variations ?
- Comment les éléments architecturaux, les périodes de construction, l'historique des rénovations et les technologies d'isolation interagissent-ils pour générer des profils thermiques contrastés dans le bâti de notre communauté ?
- Quelles solutions globales, reproductibles et économiquement accessibles pourraient être mises en œuvre à l'échelle locale pour réduire les pertes de chaleur tout en promouvant une durabilité énergétique à long terme ?

## Conceptualisation

Dans cette phase, les élèves étudieront les schémas de perte de chaleur à l'échelle communautaire, en reliant leurs observations à des dynamiques urbaines et environnementales plus larges. Pour garantir une analyse structurée, les élèves doivent comprendre les concepts suivants :

- **Dynamique des pertes de chaleur urbaines** : Les pertes thermiques des bâtiments varient selon plusieurs facteurs, notamment les matériaux de construction, la qualité de l'isolation, l'ancienneté des structures et les usages (résidentiels, commerciaux, etc.). Les structures mal isolées et la présence de ponts thermiques provoquent des pertes localisées, qui peuvent accroître la demande énergétique et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle urbaine.
- **Cartographie et visualisation thermiques** : La cartographie des pertes de chaleur repose sur la capture d'images thermiques des bâtiments, annotées avec des données de température permettant d'identifier les zones d'inefficacité. La cartographie collaborative offre une vue d'ensemble des performances thermiques d'un quartier, mettant en évidence des tendances liées aux typologies de bâtiments et à leur implantation géographique.
- **Analyse comparative avec des données publiques** : Lorsque cela est possible, les élèves peuvent confronter leurs observations à des données d'imagerie thermique aérienne issues de collectivités locales ou d'organisations environnementales, afin d'évaluer dans quelle mesure les relevés au sol confirment ou nuancent les tendances observées à grande échelle.
- **Stratégies collectives d'efficacité énergétique** : La réduction des pertes de chaleur urbaines nécessite une approche collective, allant des rénovations individuelles à la mise en œuvre de politiques incitatives en faveur de la construction durable. La compréhension des impacts économiques, environnementaux et sociaux de ces stratégies est essentielle pour permettre aux élèves de formuler des recommandations argumentées et pertinentes.

### Questions de recherche et cadre d'investigation

Les élèves formuleront des questions de recherche destinées à guider leur analyse. Ces questions devront permettre d'explorer les causes et les conséquences des pertes de chaleur en milieu urbain, tout en visant à identifier des solutions possibles pour y remédier.

#### Exemples de questions de recherche



- Quels types de bâtiments (résidentiels, commerciaux, anciens, récents) présentent les pertes de chaleur les plus importantes dans notre communauté, et quels facteurs expliquent ces différences ?
- Comment les conditions météorologiques locales, telles que le vent ou l'humidité, influencent-elles les schémas de perte de chaleur observés ?
- Quelles interventions ciblées permettraient de réduire les pertes de chaleur dans les zones identifiées comme les plus inefficaces ?

Après avoir défini leurs questions de recherche, les élèves formuleront des hypothèses établissant un lien entre leurs observations et les résultats attendus. Voici quelques exemples représentatifs :

#### Exemple d'hypothèse



- Les bâtiments anciens présenteront des pertes de chaleur plus importantes que les constructions récentes, en raison de matériaux isolants moins performants et de normes de construction dépassées.
- Les bâtiments à usage commercial auront tendance à perdre davantage de chaleur que les structures résidentielles, en raison de surfaces vitrées plus étendues et de taux d'occupation plus élevés.
- Les bâtiments exposés à des vents soutenus présenteront des pertes de chaleur accrues, dues à une infiltration d'air plus importante à travers des structures insuffisamment étanches.

Les hypothèses doivent **préciser clairement les types de variables impliquées** :

- **Variables indépendantes** : le type de bâtiment, son ancienneté, les matériaux utilisés, ou encore son exposition aux conditions extérieures.
- **Variables dépendantes** : les niveaux de perte de chaleur, mesurés par exemple à travers les différences de température ou l'analyse de zones thermiques spécifiques.
- **Variables contrôlées** : les conditions environnementales au moment de la collecte des données, telles que la température extérieure ou l'heure de la journée.

**Encourager la pensée critique et élargir la réflexion** : Pour approfondir leur compréhension, les élèves seront amenés à réfléchir à la manière dont leur enquête s'inscrit dans des enjeux sociétaux plus larges. Les principales pistes de discussion comprennent :

- *Comment l'urbanisme influence-t-il les pertes de chaleur et l'efficacité énergétique à l'échelle d'une communauté ?*
- *Quel rôle jouent les facteurs économiques, notamment les disparités de revenus, dans la détermination des bâtiments bénéficiant d'améliorations en matière d'isolation ?*
- *Comment les données issues de la cartographie thermique peuvent-elles éclairer les politiques publiques ou alimenter des campagnes de sensibilisation locale ?*



Ces discussions invitent les élèves à relier leurs observations de terrain aux enjeux globaux de durabilité, en soulignant l'importance d'une action collective pour faire face aux défis du changement climatique et de l'inefficacité énergétique.

**Rôle de l'enseignant** : Pour permettre aux élèves de tirer pleinement profit de cette séquence de discussion, l'enseignant joue un rôle de facilitateur. Il veille à :

- Animer les échanges afin que les questions et hypothèses de recherche restent claires, ciblées et mesurables ;
- Donner des exemples concrets de projets de cartographie thermique ayant contribué à orienter des politiques d'efficacité énergétique dans des contextes réels ;
- Encourager la réflexion critique, en amenant les élèves à considérer les implications sociales et environnementales de leurs résultats.

## Investigation par les élèves

Dans cette phase de l'investigation, les élèves mèneront une « marche thermique » dans leur quartier ou leur ville afin d'identifier et de documenter de manière systématique les pertes de chaleur affectant différents types de bâtiments et styles architecturaux. Munis d'outils de mesure adaptés, tels que des caméras thermiques ou des thermomètres infrarouges de précision, ils recueilleront des données de température à des points stratégiques, noteront avec rigueur les caractéristiques des bâtiments observés ainsi que les conditions environnementales, et collaboreront à la création d'une carte complète des pertes thermiques à l'échelle locale. Cet outil de visualisation détaillé leur permettra d'analyser les tendances, d'identifier les zones d'inefficacité énergétique et de formuler des propositions argumentées pour améliorer les performances thermiques de leur communauté. À travers ce processus de collecte de données appliquée, les élèves développeront une expérience concrète des méthodes scientifiques, tout en contribuant à une compréhension globale des dynamiques énergétiques urbaines. Avant de débiter l'étude, une phase de préparation rigoureuse est indispensable pour garantir la fiabilité des mesures et la pertinence des résultats. Cette étape consiste à rassembler le matériel nécessaire, à définir les protocoles de relevé et à s'assurer que chaque élève connaît précisément son rôle et ses responsabilités au sein du groupe. Une préparation rigoureuse permettra d'obtenir des données plus fiables et de garantir un déroulement plus fluide de l'enquête.

### Préparation de l'enquête

**Outils et matériaux nécessaires** :

- Caméras thermiques, thermomètres infrarouges ou autres dispositifs de mesure de la température

- Cartes de la zone étudiée (format numérique ou papier) pour annotation
- Carnets ou appareils numériques pour l'enregistrement des données
- Application météo ou accès à des données climatiques pour documenter les conditions extérieures (température, vent, humidité)

### Configuration préalable à l'enquête :

- Avant le départ, il est essentiel de vérifier que les élèves maîtrisent l'utilisation des outils, notamment les principes de fonctionnement, l'étalonnage des appareils et leur manipulation en toute sécurité.
- Il convient également d'aborder les aspects éthiques de la collecte de données, en insistant sur la nécessité de respecter la vie privée, notamment lors de la prise d'images de bâtiments résidentiels.

### Étapes à suivre pour mener l'enquête

- **Définir la zone d'étude :** Sélectionnez un quartier ou un ensemble de bâtiments à analyser. Veillez à inclure une diversité de typologies (résidentiels, commerciaux, anciens, récents) afin de permettre une analyse comparative pertinente.
- **Planifier la marche thermique :** Divisez la classe en petits groupes, chacun étant responsable d'un secteur précis de la zone définie. Prévoyez des créneaux horaires cohérents pour la collecte des données, idéalement tôt le matin ou en soirée, lorsque les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur sont les plus marqués.
- **Collecte des données thermiques :** Capturez des images thermiques ou relevez les températures sur différentes surfaces des bâtiments (murs, fenêtres, toitures). Notez les indices visibles d'inefficacité thermique : ponts thermiques, fuites d'air, zones d'isolation déficiente. Consignez également les conditions environnementales au moment de l'observation : température extérieure, vitesse du vent, ensoleillement.
- **Documentation des observations :** Utilisez un tableau standardisé pour enregistrer les données de manière structurée (voir exemple ci-après).

ID du bâtiment	Type (résidentiel / commercial)	Âge	Zone de perte de chaleur	Différence de température (°C)	Observations
Bâtiment A	Résidentiel	Années 1970	Toit	15	Isolation insuffisante visible
Bâtiment B	Commercial	Années 2000	Fenêtres	10	Des courants d'air détectés à proximité des cadres

- **Intégrer les données publiques (si disponibles) :** Comparez les résultats obtenus sur le terrain avec les images thermiques aériennes ou d'autres sources publiques, afin de valider les observations et de mettre en évidence des tendances à plus grande échelle.

#### Défis et considérations sur la validité



- **Variabilité des données :** Les conditions extérieures, telles que le vent, l'ensoleillement ou l'humidité, peuvent influencer de manière significative sur les relevés thermiques. Il est donc important de maintenir des horaires cohérents et de suivre des méthodes de mesure bien définies pour garantir la comparabilité des données.
- **Considérations éthiques :** Les élèves doivent être sensibilisés à la question du respect de la vie privée, en particulier lorsqu'ils prennent des images de bâtiments résidentiels. L'autorisation des propriétaires ou occupants doit être sollicitée si nécessaire.
- **Précision des mesures :** Pour renforcer la fiabilité des résultats, il est recommandé de répéter les mesures dans des conditions similaires. L'utilisation de procédures d'étalonnage appropriées permet également d'améliorer la justesse des relevés.

**Cartographie et analyse collaboratives :** Après la collecte des données, les élèves mèneront une analyse collaborative approfondie des résultats. Ils commenceront par créer une carte détaillée des pertes de chaleur à l'aide d'outils de cartographie tels que Google My Maps ou UMap. Cette carte constituera un support visuel permettant de représenter les données thermiques collectées, les types de bâtiments observés et les inefficacités identifiées.

L'analyse des tendances constituera la seconde étape. Les élèves compareront les schémas de perte thermique en fonction de critères tels que le type de bâtiment, son ancienneté ou sa localisation, afin d'identifier d'éventuelles

corrélations avec des facteurs comme la qualité de l'isolation, les matériaux de construction ou l'exposition aux conditions extérieures.

À partir de cette analyse, les élèves formuleront des propositions concrètes pour réduire les pertes de chaleur identifiées. Ces solutions pourront porter sur la modernisation de l'isolation dans les bâtiments anciens, l'amélioration de l'étanchéité des ouvertures (fenêtres, portes) ou encore la mise en œuvre d'initiatives locales en faveur d'une meilleure isolation dans les quartiers les plus vulnérables.

- **Créer une carte des pertes de chaleur** : À l'aide d'outils comme Google My Maps, UMap, ArcGIS ou des cartes papier, les élèves représenteront visuellement les données relevées. Ils annoteront les cartes avec les relevés thermiques, les types de bâtiments et les zones d'inefficacité identifiées.

**Analyser les tendances** : Ils compareront les profils thermiques en fonction du type, de l'âge ou de l'emplacement des bâtiments. L'objectif est de repérer des corrélations significatives avec des facteurs comme la qualité de l'isolation, les matériaux utilisés ou l'exposition aux conditions extérieures.

**Élaborer des propositions** : Sur la base de leur interprétation des données, les élèves réfléchiront à des solutions réalistes telles que :

- la rénovation thermique de bâtiments anciens ;
- le calfeutrage des points de fuite d'air (portes et fenêtres) ;
- la promotion de programmes collectifs visant à améliorer l'isolation dans les secteurs les plus exposés ou précaires.



**Rôle de l'enseignant** : L'enseignant accompagne les élèves dans l'élaboration d'un protocole structuré pour la collecte et la cartographie des données. Il soutient l'utilisation des outils de cartographie, en veillant à ce que la visualisation produite soit à la fois précise et interprétable. Enfin, il anime les discussions autour des résultats, en encourageant les élèves à mettre en lien leurs observations avec des problématiques plus larges, qu'elles soient environnementales, sociales ou territoriales.

À l'issue de cette phase d'investigation, les étudiants auront franchi plusieurs étapes dans leur compréhension de la dynamique thermique urbaine et de l'efficacité énergétique à l'échelle communautaire. Ils auront réalisé une vaste étude thermique collaborative au sein de leur communauté locale, documentant les variations de température et les schémas de perte de chaleur dans divers types de bâtiments et styles architecturaux.

Ils devront développer et mettre en œuvre une carte visuelle détaillée des pertes de chaleur, identifiant et mettant en évidence de manière systématique les zones d'inefficacité thermique, en intégrant plusieurs points de données et facteurs environnementaux pour créer un aperçu complet des modèles énergétiques de la communauté.

Ils effectueront une analyse des tendances afin d'identifier les modèles récurrents, les corrélations et les facteurs causaux potentiels, ce qui les conduira à formuler des solutions pratiques, fondées sur des preuves, et adaptées aux besoins spécifiques de leur territoire.

Ce processus d'investigation rigoureux renforce non seulement le lien entre les observations localisées et les objectifs globaux de durabilité, mais permet également aux étudiants de développer des compétences de pensée critique essentielles pour comprendre comment la méthode scientifique peut être appliquée efficacement afin de générer un changement significatif et durable au niveau communautaire. Grâce à cette expérience pratique, les étudiants acquièrent des connaissances précieuses sur les applications concrètes de la science thermique, tout en contribuant au dialogue plus large sur la durabilité environnementale et la conservation de l'énergie.

## Restitution et réflexion

**Connaissances mobilisées:** En terminant cette phase, les élèves auront acquis une compréhension plus approfondie de la manière dont les inefficacités thermiques se manifestent à l'échelle d'une communauté. Ils auront appliqué leurs connaissances en matière d'isolation, de transfert de chaleur et d'imagerie thermique à des situations réelles, en reliant leurs observations à des dynamiques urbaines et environnementales plus larges. Les élèves reconnaîtront également l'intérêt de la cartographie collaborative pour identifier des inefficacités systémiques et hiérarchiser des interventions ciblées. Ils comprendront comment des facteurs tels que l'âge, le type, les matériaux ou les conditions environnementales des bâtiments contribuent aux modèles de perte de chaleur urbaine. Ces connaissances mettent en lumière l'interaction entre la science, l'urbanisme et la responsabilité sociale dans la lutte contre l'inefficacité énergétique et en faveur de la durabilité.

**Réflexion sur la mise en œuvre en classe:** Cette phase met l'accent sur l'apprentissage collaboratif et pratique, ainsi que sur le développement de l'analyse critique. Les élèves auront :

- **Renforcé leurs compétences techniques** en utilisant des outils d'imagerie thermique et en interprétant les données pour identifier les schémas de perte de chaleur ;
- **Développé leurs capacités d'analyse**, en comparant les résultats entre différents bâtiments, en identifiant des tendances et en proposant des solutions fondées sur des données ;
- **Travaillé en équipe**, en collaborant à la création d'une carte thermique complète et en échangeant leurs idées au sein du groupe.



L'activité favorise également une prise de conscience de l'impact sociétal et environnemental de leurs observations, en encourageant les élèves à réfléchir au-delà du cadre de la salle de classe.

**Résultats d'apprentissage généraux :**

- **Développement des compétences scientifiques** : les élèves affineront leur capacité à collecter, analyser et représenter visuellement des données thermiques issues du monde réel.
- **Pensée critique** : en identifiant les zones d'inefficacité et en proposant des solutions, ils apprendront à évaluer les compromis possibles et à hiérarchiser les interventions les plus pertinentes.
- **Applications pratiques** : les élèves relieront leurs découvertes à des actions concrètes pour remédier à l'inefficacité énergétique à l'échelle de leur communauté.
- **Perspectives élargies** : ils comprendront l'importance de l'action collective pour relever les défis mondiaux en matière de durabilité, en lien avec l'ODD 7 (Énergie propre et abordable), l'ODD 11 (Villes et communautés durables) et l'ODD 13 (Action pour le climat).

Pour conclure cette phase, les élèves participeront à une **discussion guidée autour de questions ouvertes**. Celles-ci sont conçues pour encourager une réflexion approfondie sur leur étude et ses implications à la fois locales et globales. Plusieurs questions pourront être proposées à la discussion :

- Quels modèles avez-vous observés en matière de perte de chaleur dans différents bâtiments, et en quoi confirment-ils ou contredisent-ils vos hypothèses initiales ?
- Quels facteurs (type de bâtiment, ancienneté, emplacement, etc.) ont le plus contribué aux inefficacités que vous avez identifiées ?
- Quelles solutions recommanderiez-vous en priorité pour réduire les pertes de chaleur dans votre communauté, et pourquoi ?
- De quelle manière les données collectées pourraient-elles être utilisées pour informer les politiques locales ou soutenir des campagnes de sensibilisation à l'efficacité énergétique ?
- Quels obstacles voyez-vous à la mise en œuvre de mesures d'amélioration de l'isolation à l'échelle d'un quartier ou d'une ville ?
- En quoi la réduction des pertes de chaleur urbaines peut-elle contribuer aux efforts mondiaux de lutte contre le changement climatique et à la promotion de la durabilité ?



**Se connecter à des thèmes plus larges :** Cette phase souligne le rôle déterminant de l'action collective et de la prise de décision fondée sur des données pour lutter contre l'inefficacité énergétique en milieu urbain. En reliant leurs conclusions à des enjeux sociétaux et environnementaux plus vastes, les élèves prendront conscience de l'importance de la science dans l'élaboration des politiques publiques et dans la mise en œuvre de changements concrets. Ils découvriront également comment leur propre communauté peut contribuer activement aux objectifs mondiaux de développement durable.

Les élèves peuvent mobiliser leurs découvertes pour développer des projets à fort impact, tels que :

- Concevoir une **campagne de sensibilisation** sur l'importance de l'isolation et de l'efficacité énergétique ;
- Proposer un **plan d'action communautaire** visant la rénovation des bâtiments anciens ou l'amélioration de l'isolation dans les zones les plus vulnérables ;
- Présenter leurs conclusions à des **acteurs locaux** (collectivités, associations, institutions) afin de plaider en faveur de politiques de construction plus durables.

Cette phase finale conclut l'enquête par un **appel à l'action**, en donnant aux élèves l'occasion de **mettre leurs connaissances scientifiques au service de leur communauté** et de contribuer, à leur échelle, aux efforts collectifs pour un avenir plus durable.

## Fiche pratique 1.



# Collecter des données avec le capteur d'humidité et de température

## Matériel et outils nécessaires

- **Carte Micro:bit V2 et ses capteurs intégrés** : il s'agit de la carte programmable principale. Elle comprend un capteur de lumière (via l'écran LED), un capteur sonore, ainsi qu'un capteur de température intégré. *Prix indicatif : environ 19 € par carte Micro:bit.* ([Voir les prix](#))
- **Câble micro-USB** : permet d'alimenter la carte et de la programmer depuis un ordinateur.
- **Batterie externe (optionnelle)** : utile pour un fonctionnement en autonomie si la carte est détachée de l'ordinateur. *Le boîtier de piles officiel Micro:bit est disponible pour environ 2,20 € par unité* [ici](#).



Vous pouvez également acheter le kit Micro:bit V2 comprenant le câble USB et le boîtier de piles pour 21 EUR par kit ([ici](#)) ou 177 EUR pour 10 kits ([ici](#))

- **Capteur DHT22 (ou DHT11)** : ces capteurs sont populaires pour mesurer l'humidité et la température avec des microcontrôleurs. *Le [DHT11](#) est bon marché et suffisant pour des projets simples, tandis que le [DHT22](#) offre une meilleure précision et une résolution supérieure, pour un coût légèrement plus élevé.*
- **Ordinateur ou tablette** : utilisé pour écrire le code et le transférer vers la Micro:bit.
- **Environnement de programmation** : l'éditeur en ligne [MakeCode](#) est recommandé pour programmer facilement la carte Micro:bit.



**Pour cette étape, il est recommandé de programmer entre 3 et 6 cartes Micro:bit** afin de les répartir entre les élèves et de recueillir un plus grand volume de données. Il est possible de réaliser l'activité avec une seule carte, mais cela nécessitera soit **d'allonger la période globale de collecte**, soit **de réduire la durée de collecte par élève**, en passant de 7 à 3 jours environ.

## Câblage et utilisation d'une carte Micro:bit

Suivez les étapes ci-dessous pour programmer, installer, enregistrer et récupérer des données environnementales à l'aide d'une carte Micro:bit.

**Étape 1 : Câblage du capteur de température/humidité à la carte Micro:bit.** Il existe deux types de capteurs DHT11/DHT22 :

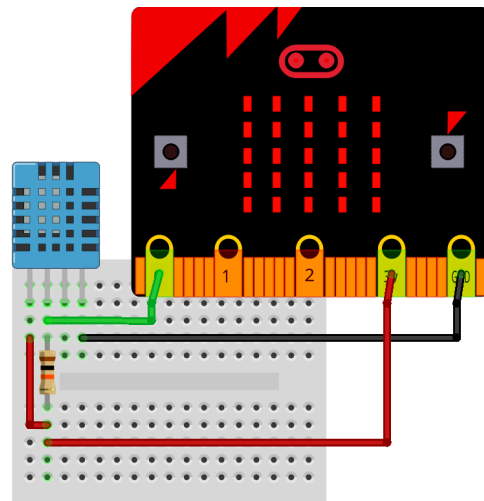
1. **Version sans carte PCB**, avec **4 broches** ;
2. **Version montée sur carte PCB**, avec **résistances de rappel intégrées** et seulement **3 broches**.

Nous vous recommandons d'utiliser **la version avec PCB**, plus simple à connecter. Pour la version **avec PCB** (3 broches) :

- **Vcc (+)** : à connecter à **3,3 V ou 5 V** (les deux tensions sont compatibles)
- **GND (-)** : à connecter à la masse (**GND**)
- **Data (OUT)** : à connecter à **n'importe quelle broche GPIO** de la Micro:bit

Pour la version **sans PCB** (4 broches) :

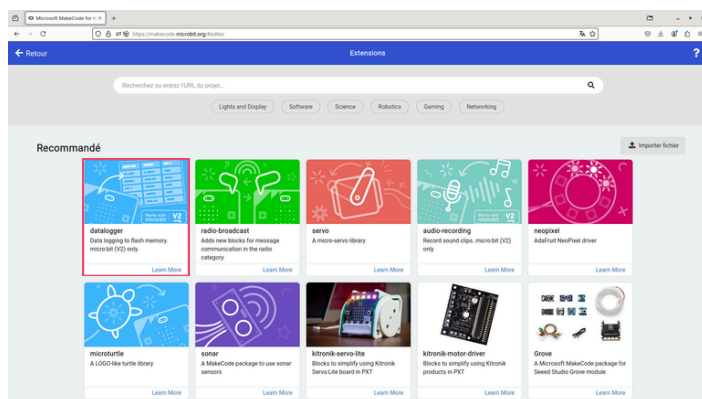
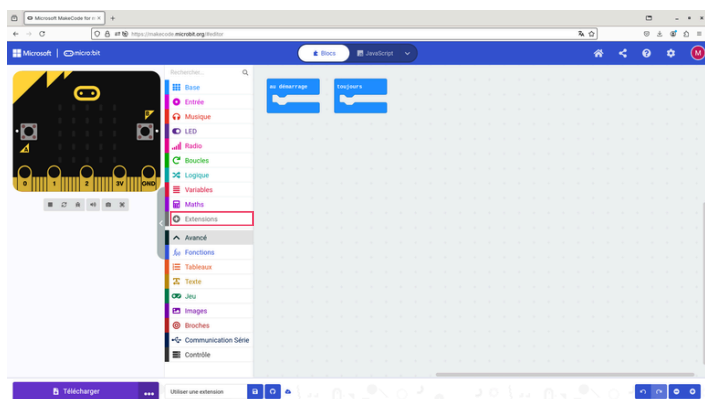
- Vous devez ajouter une **résistance de rappel** entre **Vcc et Data** pour maintenir la broche Data à l'état haut. *Une résistance comprise entre **220 Ω et 10 kΩ** fonctionne correctement sous 3,3 V ; au-delà, le capteur risque de ne pas répondre.*
- Vous pouvez aussi utiliser l'option **pull-up interne** de la Micro:bit : dans MakeCode, allez dans le menu "**Broche**" > "**Plus**" > "**Régler le levier en broche...**". La Micro:bit possède des **résistances de rappel internes** d'environ **12–13 kΩ**.
- **Remarque** : la **troisième broche à partir de la gauche** (sur la version 4 broches) **n'est pas utilisée**.



**Connectez votre capteur DHT en suivant le schéma ci-contre.**

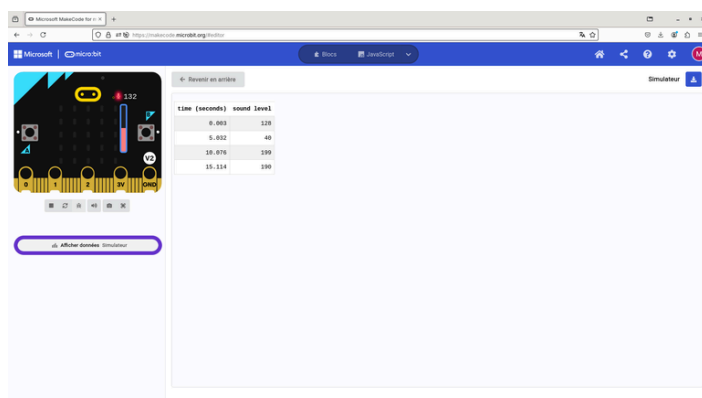
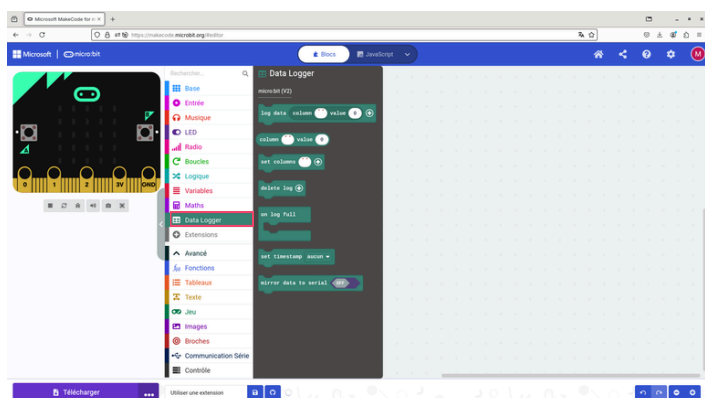
**Étape 2 : Programmation de la Micro:bit.** À l'aide de votre câble USB, connectez la carte à votre ordinateur via le connecteur micro-USB. Une fois connectée, la carte Micro:bit apparaîtra sur l'ordinateur comme un lecteur amovible (par exemple, « MICROBIT »). Ouvrez l'éditeur MakeCode pour créer un programme qui collecte des données de lumière, de bruit et de température à l'aide des capteurs intégrés de la carte Micro:bit V2. Donnez un nom clair à votre projet avant de commencer.

Une fois dans l'éditeur et après avoir créé votre nouveau projet, vous verrez apparaître l'écran par défaut « prêt à l'emploi ». Vous devrez alors installer une extension. Les extensions dans MakeCode sont des groupes de blocs qui ne sont pas inclus directement dans les blocs de base. Comme leur nom l'indique, elles ajoutent des blocs pour des fonctionnalités spécifiques. Il existe des extensions pour un large éventail d'usages : créer une manette de jeu, un clavier, une souris, contrôler un servomoteur, etc. Dans la colonne des groupes de blocs, cliquez sur **EXTENSIONS**. Dans la liste des extensions disponibles, recherchez l'extension **Datalogger**, qui sera utilisée pour cette activité. Cliquez sur l'extension souhaitée : un nouveau groupe de blocs apparaîtra sur l'écran principal. Faites de même pour le capteur de température/humidité en recherchant l'extension **DHT11/DHT22**.



**1** Ouvrez le menu des extensions depuis l'éditeur MakeCode pour micro:bit.

**2** Sélectionnez l'extension Datalogger dans la liste (vous pouvez également utiliser l'outil de recherche).



**3** L'extension datalogger apparaît dans la liste des blocs disponibles depuis votre éditeur.

**4** Le datalogger vous permet d'accéder à un simulateur d'enregistrement de données.

Ensuite, vous pouvez commencer à organiser les blocs en suivant le code fourni ci-contre (ajout d'une boucle infinie, enregistrement des données dans le datalogger, etc.).

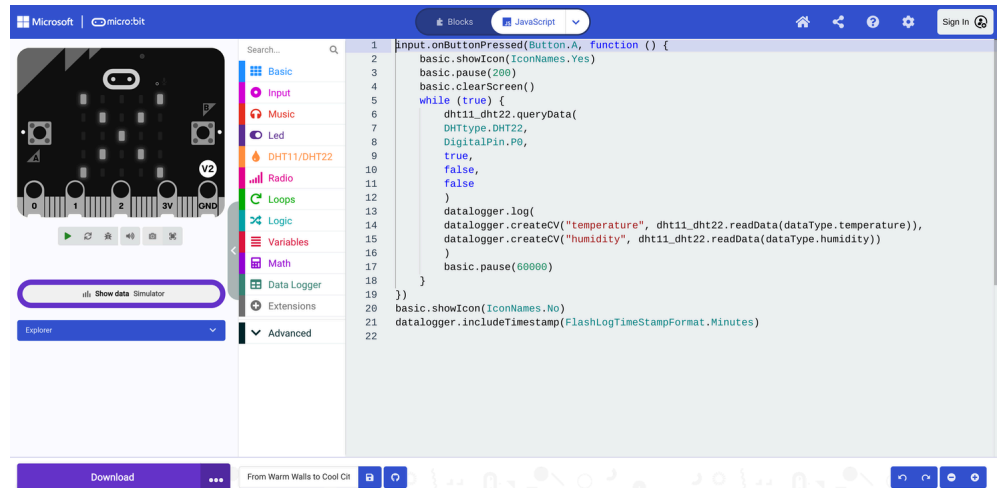
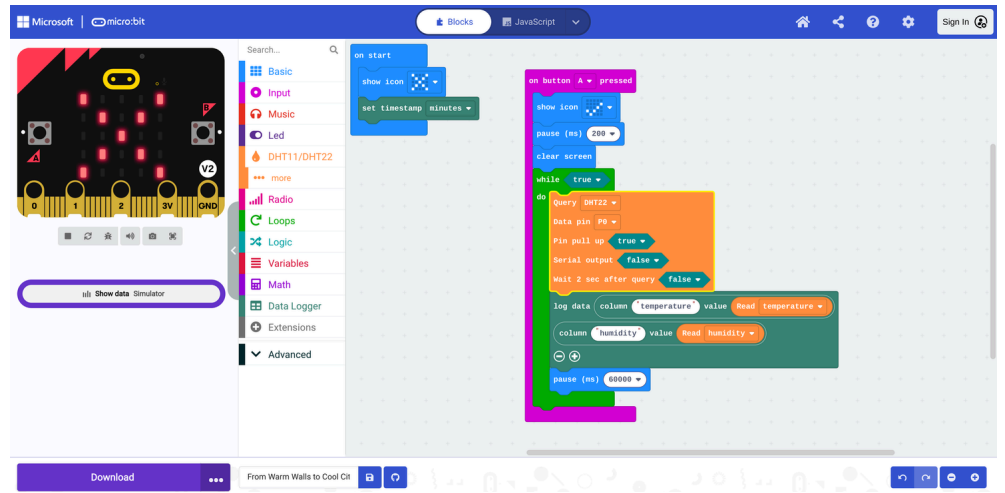
Il est également possible de copier-coller directement le code dans l'éditeur **JavaScript**.

Une fois que votre programme fonctionne correctement dans le simulateur, transférez-le sur votre Micro:bit : cliquez sur « **Télécharger** » dans MakeCode pour générer un fichier **.hex**.

Ce fichier contient le programme compilé qui permettra à la carte de fonctionner.

Copiez le fichier **.hex** depuis votre dossier de téléchargement vers le lecteur amovible « **MICROBIT** ».

Une fois le fichier copié, la carte redémarrera automatiquement et exécutera le code.



### **Étape 3 : Positionner la Micro:bit et commencer à enregistrer les données**

Une fois programmé, placez la Micro:bit dans un endroit où il pourra mesurer l'humidité et la température **sans obstruction**, afin de garantir des relevés fiables. Utilisez un ordinateur ou une **batterie externe** pour assurer l'alimentation continue du Micro:bit pendant toute la durée de l'enregistrement. Avant d'aller vous coucher, **appuyez sur le bouton A** de la carte Micro:bit pour démarrer l'enregistrement des données.

### **Étape 4 : Récupération des données et préparation de la carte pour la prochaine session**

Chaque matin, pour éviter toute perte de données, **débranchez la Micro:bit de sa source d'alimentation** afin d'arrêter l'enregistrement. **Connectez-la ensuite à votre ordinateur** pour accéder au fichier généré pendant la nuit par le datalogger. Ce fichier s'appelle **MY\_DATA.HTM** et se trouve sur le lecteur **MICROBIT**.

- **Copiez ce fichier** sur votre ordinateur.
- **Renommez-le** avec la date du jour et un identifiant clair (par exemple : BOARD1\_NAME\_YYYY-MM-DD.HTM).
- Une fois copié et renommé, **supprimez le fichier MY\_DATA.HTM** de la carte Micro:bit pour libérer de l'espace et permettre un nouvel enregistrement.

Répétez cette opération chaque jour pour chaque carte utilisée. À la fin de la période de collecte, vous pourrez **centraliser tous les fichiers enregistrés** sur l'ensemble des Micro:bit.

## **Utiliser et comprendre le code**

Voici le code Javascript utilisé pour programmer une carte micro:bit afin de collecter régulièrement des données sur l'humidité et la température :



```

input.onButtonPressed(Button.A, function () {
  basic.showIcon(IconNames.Yes)
  basic.pause(200)
  basic.clearScreen()
  while (true) {
    dht11_dht22.queryData(
      DHTtype.DHT22,
      DigitalPin.P0,
      true,
      false,
      false
    )
    datalogger.log(
      datalogger.createCV("temperature", dht11_dht22.readData(dataType.temperature)),
      datalogger.createCV("humidite", dht11_dht22.readData(dataType.humidity))
    )
    basic.pause(60000)
  }
})
basic.showIcon(IconNames.No)
datalogger.includeTimestamp(FlashLogTimeStamFormat.Minutes)

```

### Comment le programme fonctionne ?

Ce programme mesure l'humidité et la température. **À intervalles réguliers** — par défaut toutes les minutes, mais cette fréquence peut être ajustée (toutes les 10 secondes, toutes les 5 minutes, deux fois par heure, etc.) — le programme enregistre les données dans un **datalogger**, à partir duquel il est possible de télécharger un **fichier .csv**.

Un fichier **.csv** (*Comma-Separated Values*) est un format de fichier texte utilisé pour stocker des données tabulaires, comme dans un tableau ou une feuille de calcul. Chaque ligne du fichier correspond à une ligne de données, et chaque valeur est séparée par un délimiteur — le plus souvent une virgule, mais parfois un point-virgule ou une tabulation.



Il est possible de récupérer les données d'un fichier .csv dans un tableur tel que **Excel** ou **LibreOffice Calc**. Dans Excel, ouvrez le logiciel, cliquez sur **Fichier > Ouvrir**, sélectionnez le fichier .csv, puis configurez les délimiteurs si nécessaire via l'outil d'importation. Dans LibreOffice Calc, le processus est similaire : cliquez sur **Fichier > Ouvrir**, choisissez le fichier, puis utilisez l'assistant d'importation pour définir le bon délimiteur (par exemple une virgule ou un point-virgule).

Dans les deux cas, les données s'affichent sous forme de tableau, prêtes à être analysées.

**Initialisation de l'événement d'appui sur le bouton « A »:** Lorsque l'utilisateur appuie sur le **bouton « A »** de la MicroBit, la fonction `input.onButtonPressed(Button.A, function () {...})` est exécutée.

**Affichage de l'icône "Yes" pendant l'exécution:** Avant de démarrer l'enregistrement des données, le programme affiche l'icône « **Yes** » (`basic.showIcon(IconNames.Yes)`) pendant **200 millisecondes** (0,2 seconde) pour indiquer que le processus d'enregistrement a démarré.

**Pause de 200 millisecondes:** Après avoir affiché l'icône « Yes », le programme attend **200 millisecondes** en utilisant `basic.pause(200)`.

**Nettoyage de l'écran:** Après la pause de 200 millisecondes, l'écran est effacé avec `basic.clearScreen()`, qui prépare l'écran pour ce qui suit sans être encombré d'images.

**Boucle de collecte de données infinie :** Le programme entre dans une boucle infinie `while (true)`. Cela signifie que les données seront collectées et enregistrées sans fin jusqu'à ce que la MicroBit soit éteint ou redémarré.

**Interrogation du capteur:** Les blocs `dht11_dht22.queryData()` et `dht11_dht22.readData(...)` permettent de sélectionner le type de module et de lire les données du capteur (il est recommandé de respecter un délai entre chaque requête : au moins 1 seconde pour le DHT11 et 2 secondes pour le DHT22). Une requête doit être effectuée au préalable pour obtenir les valeurs de température et d'humidité. Ce bloc vérifie également la somme de contrôle des données renvoyées par le capteur. En cas d'erreur dans la somme de contrôle, les relevés de température et d'humidité retourneront -999, et le bloc « Dernière requête réussie ? » indiquera `false`.

**Enregistrement des données dans le datalogger :** A chaque itération, le programme enregistre les valeurs des capteurs de la MicroBit :

- **Température:** le bloc `dht11_dht22.readData(dataType.temperature)`, récupère la température actuelle en degrés Celsius.
- **Humidité:** le bloc `dht11_dht22.readData(dataType.humidity)`, récupère l'humidité relative actuelle.

La température est mesurée en degrés Celsius (°C) et l'humidité relative en pourcentage.

Ces valeurs sont enregistrées dans le **datalogger** sous forme de variables nommées (respectivement, « température » et « humidité »). Cela se fait via la fonction `datalogger.log()` :

```
datalogger.log(  
    datalogger.createCV("temperature", dht11_dht22.readData(dataType.temperature)),  
    datalogger.createCV("humidite", dht11_dht22.readData(dataType.humidity))  
)
```

La fonction `createCV` permet de créer un « CV » (valeur de contexte) pour chaque capteur, et la fonction `datalogger.log` permet d'enregistrer ces valeurs dans un fichier sur la MicroBit.

**Pause de 60 000 millisecondes avant la lecture suivante:** Après chaque enregistrement, le programme attend 60 000 millisecondes (1 minute) avant de relire les valeurs du capteur. Ceci est réalisé avec `basic.pause(60000)`.

**Horodatage des données (inclus via `datalogger.includeTimestamp`):** En dehors de la fonction liée au bouton, la commande `datalogger.includeTimestamp(FlashLogTimeStampFormat.Minutes)` est utilisée pour inclure un horodatage avec chaque enregistrement de données. Le format d'horodatage est en minutes, ce qui signifie que chaque enregistrement aura un indicateur de temps basé sur les minutes écoulées depuis le démarrage du programme.

**Affichage de l'icône "No" avant l'exécution:** Avant que l'utilisateur n'appuie sur le bouton « A », le programme affiche une icône « No » (`basic.showIcon(IconNames.No)`) pour indiquer que la MicroBit attend l'action de l'utilisateur.

## Fiche pratique 2



# Utilisation de caméras thermiques pour l'analyse de l'isolation

## Pourquoi utiliser une caméra thermique ?

Une **caméra thermique** est un outil utile pour repérer les zones de **perte de chaleur** dans les bâtiments. En capturant des **images infrarouges**, elle met en évidence les différences de température à la surface des murs, des fenêtres ou des toitures. Ces informations permettent d'**identifier les points faibles de l'isolation**, comme les ponts thermiques, les infiltrations d'air ou les matériaux dégradés, qui sont souvent invisibles à l'œil nu.

## Comment fonctionne une caméra thermique ?

Les **caméras thermiques** détectent le **rayonnement infrarouge** émis par les objets en fonction de leur température. Elles traduisent ce rayonnement en une **image en fausses couleurs**, où chaque teinte correspond à une plage de température donnée : **Rouge / Jaune** : indiquent des zones plus chaudes, souvent associées à des pertes de chaleur - **Bleu / Violet** : signalent des zones plus froides, pouvant révéler des infiltrations d'air ou une isolation insuffisante.

Les élèves peuvent analyser ces images pour **interpréter les variations thermiques** observées et **identifier les zones nécessitant des améliorations**.

## Étapes pour une utilisation efficace d'une caméra thermique

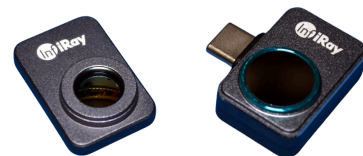
- **Préparation** : Vérifiez que la caméra thermique est bien calibrée. Choisissez un moment où la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est marquée, comme un matin froid d'hiver ou un après-midi chaud d'été.
- **Capture d'images** : Scannez les murs, les fenêtres, les portes et les toits. Maintenez la caméra de manière stable et conservez une distance constante par rapport aux surfaces observées.
- Évitez de diriger la caméra directement vers des sources de chaleur (radiateurs, appareils électroniques), car cela peut perturber les relevés.
- **Analyse des images** : Repérez les zones rouges ou jaunes sur les murs extérieurs, souvent associées à des pertes de chaleur. Identifiez les zones bleues à proximité des fenêtres ou des portes, qui peuvent indiquer des infiltrations d'air.
- **Documentation des observations** : Notez, pour chaque image, le lieu, les conditions environnementales (température extérieure, météo) et les remarques pertinentes. Si des améliorations ont été apportées, comparez les images avant et après pour observer les changements.

**Conseils et précautions** - Les conditions météorologiques influencent fortement la qualité des relevés. Il est préférable d'éviter de capturer des images en plein soleil ou par vent fort, car ces facteurs peuvent fausser les mesures. Lors de la prise de vue, il est recommandé de garder la caméra perpendiculaire à la surface observée afin de limiter les distorsions. À l'intérieur, il convient de réduire les sources de lumière chaude susceptibles d'interférer avec les relevés infrarouges. Concernant la précision des températures affichées, il faut garder à l'esprit qu'une caméra thermique est surtout conçue pour détecter les différences de température (points chauds ou froids), mais qu'elle ne fournit pas une mesure absolue fiable. Plusieurs facteurs peuvent influencer la précision : le réglage de l'émissivité (le coefficient d'émission doit correspondre à la nature de la surface mesurée), la distance entre l'objet et la caméra, la température ambiante et la différence thermique entre l'environnement et l'appareil lui-même, la qualité de l'objectif utilisé, ainsi que la plage de mesure sélectionnée (large plage ou haute résolution).



## Choisir la bonne caméra thermique

Le choix d'une caméra thermique pour cette activité dépend des ressources disponibles pour l'enseignant et l'établissement scolaire. Les caméras thermiques présentent une grande diversité en termes de coût, de fonctionnalités et de portabilité. Il est recommandé aux enseignants d'explorer les solutions locales, telles que l'emprunt d'appareils auprès des collectivités territoriales, d'organisations environnementales ou d'universités. Dans de nombreuses villes, des programmes de prêt d'équipements d'imagerie thermique existent, permettant ainsi de limiter les dépenses tout en accédant à des outils performants.

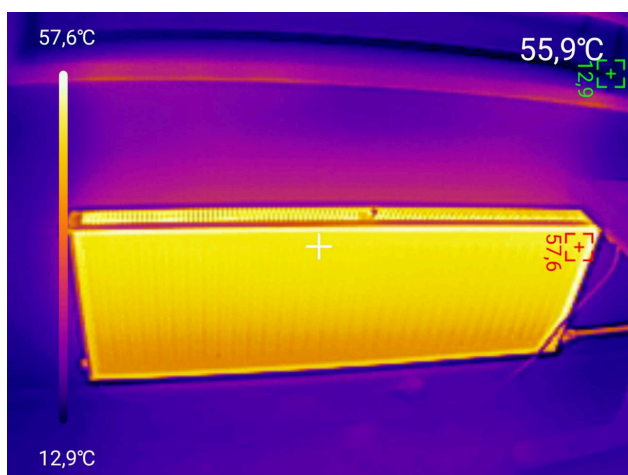


Pour les écoles à la recherche d'options à la fois abordables et accessibles, les caméras thermiques compatibles avec les smartphones, comme l'**Infiray P2 Pro**, constituent une solution pratique. Ces dispositifs compacts se connectent directement à un smartphone Android et permettent de transformer celui-ci en outil d'imagerie thermique. Leur utilisation est simple et leur format portable les rend adaptés aux contextes éducatifs. Bien qu'ils ne disposent pas des fonctionnalités avancées des caméras thermiques autonomes, ces appareils répondent efficacement aux besoins d'activités pédagogiques où la facilité d'utilisation et la mobilité sont des critères importants.

## Visualisation des données thermiques : exemples d'images

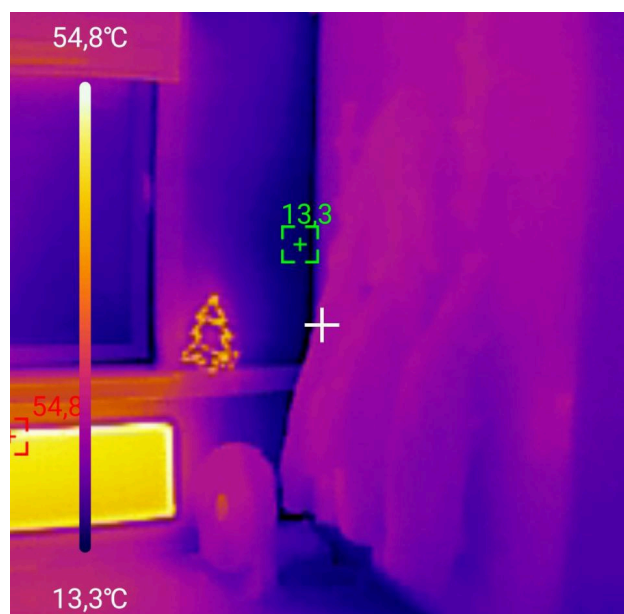
Vous trouverez ci-dessous des exemples d'images thermiques réelles. Elles illustrent des situations fréquentes : ponts thermiques, infiltrations d'air ou pertes de chaleur au niveau des murs et des fenêtres.

### Radiateur et mur d'enceinte



- **Description** : Cette image montre un radiateur agissant comme une source de chaleur localisée, avec des températures supérieures à 55°C, tandis que le mur environnant reste nettement plus froid. Elle met en évidence une concentration thermique importante, pouvant révéler des inefficacités dans la répartition de la chaleur au sein de la pièce.
- **Point clé** : Ce type d'image permet d'évaluer si l'isolation autour du radiateur est suffisante ou si des pertes de chaleur ont lieu à travers les murs adjacents.

### Perte de chaleur par les fenêtres



- **Description** : L'image thermique d'une fenêtre met en évidence des écarts de température significatifs. Les zones claires, dépassant 54 °C, signalent une perte de chaleur notable au niveau du cadre de la fenêtre et de l'angle du mur.
- **Point clé** : Cette observation rappelle l'intérêt d'un bon calfeutrage et de fenêtres à double vitrage pour limiter les déperditions thermiques.

### Cage d'escalier avec ponts thermiques



- **Description :** Sur cette image thermique de la cage d'escalier, des ponts thermiques apparaissent clairement près du plafond et des encadrements de porte, avec des températures allant de 22 °C à 11 °C. Ces variations indiquent une isolation insuffisante au niveau des jonctions structurelles. L'ensemble de la cage d'escalier présente une température basse, ce qui en fait probablement une zone de perte de chaleur importante.
- **Point clé :** Repérer les ponts thermiques permet de cibler les interventions d'isolation pour renforcer l'efficacité énergétique du bâtiment.

### Points froids dans une pièce



- **Description :** Cette image thermique d'une pièce révèle des zones froides, autour de 15 °C, le long des angles du plafond, et des zones plus chaudes, proches de 19 °C, à proximité du mobilier. Cette répartition suggère un chauffage inégal, possiblement lié à une isolation partielle ou inefficace.
- **Point clé :** L'analyse de ces variations permet d'identifier les endroits où une isolation complémentaire ou une ventilation mieux répartie pourrait être envisagée.

## Guide pratique : Utilisation de l'Infiray P2 Pro pour l'analyse thermique

L'**Infiray P2 Pro** est une caméra thermique compacte conçue pour les smartphones Android. Son interface simple et sa portabilité en font un outil adapté aux activités pédagogiques portant sur l'isolation thermique et l'efficacité énergétique. Vous trouverez ci-dessous un guide détaillé pour en faire un usage efficace dans le cadre d'analyses thermiques.



**Premiers pas avec l'Infiray P2 Pro.** Avant toute activité d'imagerie thermique, il est important de vérifier que l'Infiray P2 Pro est compatible avec l'appareil que vous souhaitez utiliser. Cette caméra se connecte via un port **USB-C**, il faut donc s'assurer que le smartphone dispose bien de ce type de connecteur et fonctionne sous **Android**.

Commencez par télécharger l'application **Infiray** depuis le Google Play Store. Cette application permet d'accéder à l'ensemble des fonctionnalités d'imagerie thermique de la caméra. Une fois l'application installée, connectez l'**Infiray**

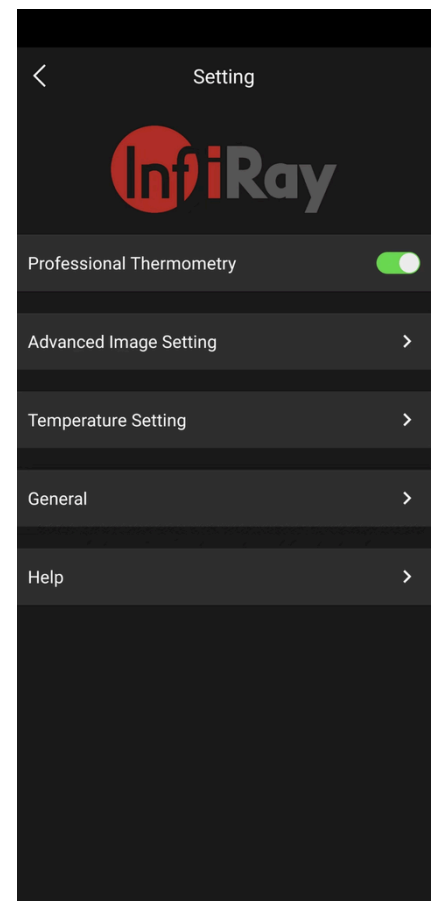
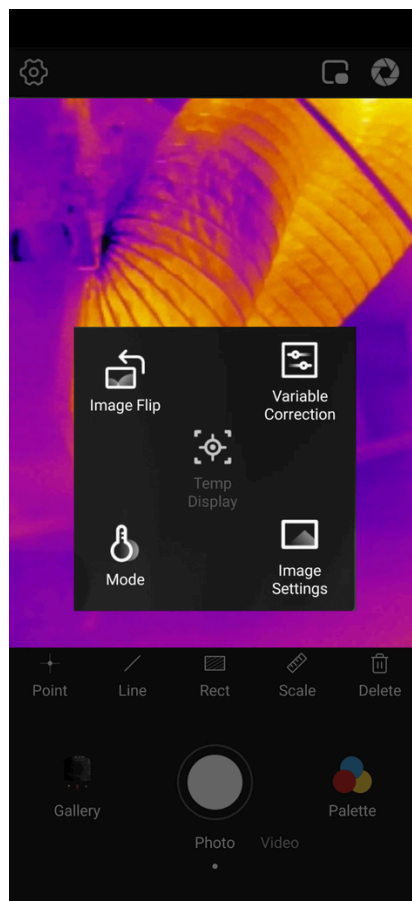
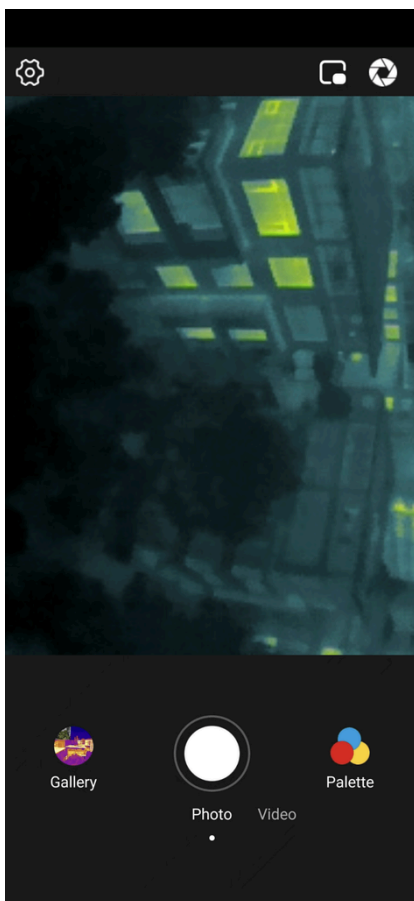
**P2 Pro** au port **USB-C** du smartphone. Ouvrez l'application pour activer la caméra, puis suivez les instructions à l'écran afin de finaliser la configuration.

À cette étape, il est recommandé d'effectuer un **calibrage** de la caméra, car la précision des relevés de température dépend d'un ajustement correct.

**Configuration de la caméra pour l'analyse de l'isolation.** L'imagerie thermique requiert une configuration précise pour mettre en évidence les écarts de température de manière fiable. Une fois la caméra activée, il est nécessaire de l'adapter à l'environnement analysé.

- **Étalonnage** : L'application guide l'utilisateur dans cette première étape, qui permet d'aligner les capteurs de la caméra sur les conditions ambiantes afin d'assurer des relevés cohérents.
- **Plage de température** : Celle-ci doit être ajustée selon le contexte. Pour un environnement intérieur, une plage allant de -10 °C à 40 °C est généralement appropriée. Pour une analyse extérieure, notamment en période hivernale ou estivale, une plage plus large peut s'avérer nécessaire.
- **Palette de couleurs** : Le choix de la palette influe sur la lisibilité de l'image thermique. Une palette comme « Ironbow » est souvent utilisée car elle met en évidence les zones chaudes en rouge vif et les zones froides en bleu, facilitant ainsi l'identification des écarts thermiques.

Ces paramètres peuvent être ajustés au cours de l'analyse, notamment si les conditions évoluent.



**Réalisation d'inspections thermiques.** Une fois la configuration terminée, l'**InfiRay P2 Pro** peut être utilisé pour inspecter différentes zones d'un bâtiment afin d'identifier d'éventuelles pertes de chaleur.

Commencez par observer les **murs** et les **fenêtres**. Recherchez la présence de points chauds — souvent représentés en rouge ou jaune selon la palette choisie — sur les murs, qui peuvent signaler une fuite de chaleur. Autour des fenêtres, les zones plus froides peuvent révéler des courants d'air ou une isolation insuffisante.

Poursuivez l'analyse en vous concentrant sur les **toits** et les **portes**, qui sont également des points fréquents de déperdition thermique. Portez une attention particulière aux jonctions entre matériaux, comme les cadres de porte ou

les joints de toiture, où des **ponts thermiques** peuvent apparaître.

L'application permet de sélectionner un point précis sur l'image pour obtenir la **température correspondante**. Cette fonction est utile pour mesurer les écarts thermiques sur une même surface et documenter les schémas de transfert de chaleur observés.

**Documenter les observations.** L'imagerie thermique est d'autant plus pertinente que les données collectées sont bien structurées. Après avoir capturé les images, il est essentiel de les documenter avec rigueur pour permettre une analyse ultérieure efficace.

- **Annotation des images** : Pour chaque image thermique, notez précisément l'emplacement, les conditions environnementales (telles que la température extérieure ou la vitesse du vent) ainsi que les observations réalisées au moment de la prise de vue.
- **Comparaison des conditions** : Il est utile de capturer des images d'un même endroit dans des contextes différents — par exemple, avant et après une intervention d'isolation — afin de visualiser l'évolution des performances thermiques.

L'application Infiray offre des fonctionnalités pour organiser et classer les données de manière systématique, ce qui permet de conserver une trace claire de chaque relevé sans perdre d'informations importantes.

**Analyse des résultats.** Après l'inspection, il est important d'analyser les données collectées afin d'en tirer des conclusions pertinentes. Commencez par repérer les **schémas de perte de chaleur** récurrents dans certaines zones du bâtiment, comme les fenêtres ou les murs mal isolés. Identifiez les points où les écarts de température sont les plus marqués. Comparez ensuite ces observations aux **données issues d'expériences en laboratoire**, menées lors de phases antérieures sur l'isolation. Cette mise en relation permet d'évaluer dans quelle mesure les comportements thermiques observés confirment les performances attendues de certains matériaux. Enfin, sur la base de cette analyse, proposez des **mesures concrètes** pour améliorer l'isolation : calfeutrage des interstices, ajout de matériaux isolants, remplacement de fenêtres par des modèles plus performants sur le plan énergétique.

## Intégration de la caméra thermique dans l'activité

Les caméras thermiques offrent une approche à la fois visuelle et scientifiquement rigoureuse pour explorer les principes du transfert de chaleur et de l'isolation. Leur utilisation dans le cadre de l'activité permet de traduire des notions théoriques en observations concrètes, facilitant ainsi une meilleure compréhension de l'efficacité énergétique et des enjeux de durabilité.

Vous trouverez ci-dessous des pistes précises pour intégrer l'imagerie thermique de manière pertinente dans le déroulement de l'activité :

**Exploration et démonstration guidées.** Commencez par une démonstration en classe de la caméra thermique afin de familiariser les élèves avec son fonctionnement dans un environnement contrôlé. Par exemple, illustrez les différences de température entre une tasse d'eau chaude et une surface froide.

Comparez des surfaces composées de matériaux différents (métal, bois, mousse) pour mettre en évidence les variations de conductivité thermique. Cette introduction concrète aide les élèves à relier l'imagerie thermique aux concepts scientifiques fondamentaux.

### Collecte de données structurées

- *Analyse en intérieur* : Organisez les élèves en petits groupes pour analyser différentes zones du bâtiment scolaire, comme les murs, les fenêtres et les portes. Attribuez des rôles spécifiques (opérateur de caméra, preneur de notes, analyste de données) afin d'assurer la participation active de tous.
- *Analyse en extérieur* : Étendez l'activité à l'extérieur. Les élèves peuvent comparer les émissions thermiques entre des murs exposés au soleil ou à l'ombre, ou encore observer les effets du vent et de la lumière sur la température

des surfaces.

### **Analyse comparative**

- *Scénarios avant/après* : Demandez aux élèves de documenter un même emplacement avant et après une intervention (ajout d'un isolant, calfeutrage d'une fenêtre, etc.). La comparaison des images thermiques permet de visualiser l'impact concret des actions entreprises.
- *Comparaison des matériaux* : Réalisez des expériences contrôlées pour comparer les performances de différents matériaux isolants testés en laboratoire avec les observations faites sur le terrain. Les élèves peuvent, par exemple, évaluer un mur de l'établissement face à un mur isolé expérimentalement.

**Intégration avec d'autres outils.** Associez l'imagerie thermique à des capteurs de température et d'humidité. Cela permet aux élèves de croiser les images thermiques avec des données chiffrées, offrant ainsi une analyse plus complète et précise des variations thermiques.

**Encourager la pensée critique.** Organisez des discussions en groupe où les élèves interprètent leurs résultats et réfléchissent à leur signification. Posez des questions telles que :

- *Pourquoi certaines zones montrent-elles davantage de perte de chaleur ?*
- *Quels éléments extérieurs peuvent influencer les résultats (météo, matériaux, orientation) ?*
- *Quelles interventions seraient les plus efficaces et pourquoi ?*

Invitez les élèves à discuter des limites de l'imagerie thermique, notamment sa dépendance aux conditions environnementales ou les difficultés d'interprétation en l'absence de contexte.

### **Mobiliser les élèves grâce à la technologie**

- *Gamification* : Transformez l'activité en défi : par exemple, « Identifier la plus grande perte de chaleur » ou « Concevoir la meilleure solution d'isolation ». Valorisez la créativité et le raisonnement scientifique.
- *Exploitation des outils numériques* : Si l'application associée à la caméra thermique le permet, encouragez l'utilisation des fonctions de superposition ou d'annotation en direct pour enrichir les images ou vidéos produites et renforcer la clarté de leurs analyses.

En intégrant l'imagerie thermique dans l'activité, les élèves développent à la fois des compétences techniques et une compréhension concrète de l'application des sciences à des problématiques réelles. L'activité devient plus dynamique, collaborative et ancrée dans les enjeux contemporains tels que le développement durable et la transition énergétique.



## Explorer de nouveaux projets

### Associer isolation et énergies renouvelables



**Idée** : Construire des maquettes de maisons solaires passives. **Activité** : Les élèves réalisent des modèles à petite échelle de bâtiments économes en énergie, intégrant des panneaux solaires et optimisant l'isolation pour limiter les pertes thermiques et la consommation. **Objectif** : Comprendre comment l'isolation et les technologies d'énergie renouvelable peuvent fonctionner de manière complémentaire pour réduire l'empreinte carbone d'un bâtiment. **Inspiration** : Relier ce projet au concept de *bâtiment à consommation énergétique nette zéro* et à la lutte contre le changement climatique.

### Imaginer des villes durables pour demain



**Idée** : Inviter les élèves à concevoir des quartiers urbains économes en énergie et respectueux de l'environnement. **Activité** : À l'aide d'outils de cartographie ou de modélisation (Google Earth, SketchUp), les élèves créent des aménagements urbains intégrant toitures végétalisées, bâtiments isolés et infrastructures fonctionnant aux énergies renouvelables. **Objectif** : Encourager une réflexion critique sur l'impact de l'urbanisme sur l'efficacité énergétique et la qualité de vie. **Inspiration** : Explorer comment l'organisation des villes peut limiter les îlots de chaleur et améliorer les performances énergétiques.

### Organiser un audit énergétique communautaire



**Idée** : Faire évoluer la cartographie thermique urbaine vers une action concrète impliquant les habitants. **Activité** : Les élèves collaborent avec les résidents pour analyser les pertes de chaleur dans les logements et proposer des solutions simples et collectives (par exemple, calfeutrage, rénovation de l'isolation dans les bâtiments anciens). **Objectif** : Favoriser la coopération locale et sensibiliser à l'efficacité énergétique à l'échelle du quartier. **Inspiration** : Utiliser les résultats pour soutenir des initiatives de rénovation ou porter des recommandations auprès des décideurs locaux.

### Explorer l'impact des matériaux sur la durabilité



**Idée** : Étudier comment le cycle de vie des matériaux isolants influence leur performance environnementale. **Activité** : Rechercher et comparer l'empreinte écologique de différents matériaux (mousse, laine, cellulose), en analysant les compromis entre efficacité thermique, coût et durabilité. **Objectif** : Amener les élèves à réfléchir de manière critique aux choix de matériaux et à leurs conséquences à long terme. **Inspiration** : Introduire les outils d'analyse du cycle de vie (ACV) pour évaluer objectivement la durabilité des solutions d'isolation.

## Explorer les pratiques d'isolation dans le monde

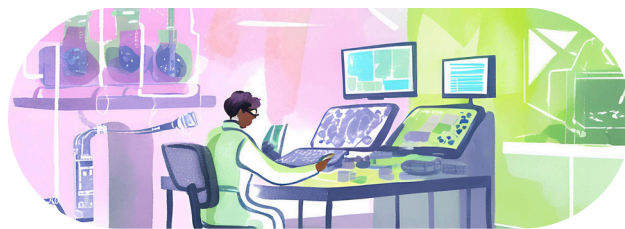


**Idée** : Comparer les techniques d'isolation utilisées dans différents contextes climatiques et culturels.

**Activité** : Rechercher des exemples de pratiques d'isolation traditionnelles et contemporaines dans diverses régions (par exemple, igloos, maisons en terre crue, constructions en bottes de paille).

**Objectif** : Mettre en lumière le lien entre les ressources locales, le climat et les choix architecturaux, tout en développant une réflexion à l'échelle mondiale. **Inspiration** : Discuter de la manière dont les savoirs autochtones peuvent nourrir les approches actuelles de la construction durable.

## Construire et tester une isolation intelligente



**Idée** : Explorer comment les technologies peuvent optimiser les performances des matériaux isolants.

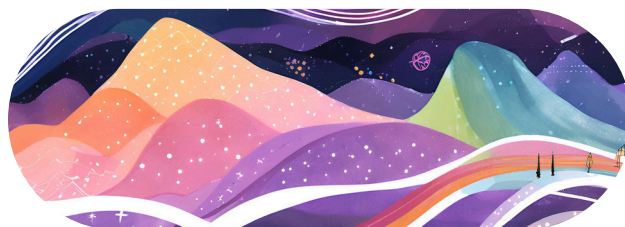
**Activité** : Les élèves intègrent des capteurs dans leurs maquettes pour suivre en temps réel les variations de température et d'humidité. Ils expérimentent avec des « matériaux intelligents », comme les matériaux à changement de phase (PCM), capables de s'adapter aux fluctuations thermiques. **Objectif** : Croiser les notions de physique de l'isolation avec des compétences STEM, notamment la programmation et l'analyse de données. **Inspiration** : Introduire le concept de maison intelligente et son rôle dans les systèmes énergétiques de demain.

## Tester l'isolation face aux défis climatiques



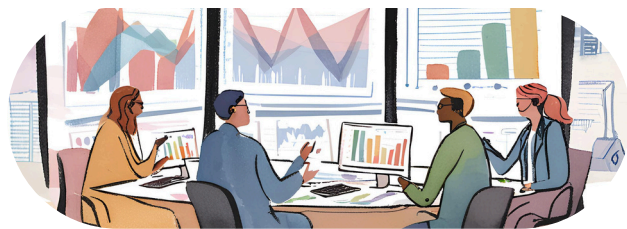
**Idée** : Tester l'efficacité de l'isolation dans des conditions météorologiques extrêmes. **Activité** : Reproduire en laboratoire différents types de climat (vent avec ventilateurs, chaleur avec lampes infrarouges) et mesurer les performances thermiques des matériaux isolants. **Objectif** : Comprendre comment l'isolation contribue à la résilience des bâtiments face aux effets du changement climatique. **Inspiration** : Explorer les enjeux concrets auxquels sont confrontés les architectes et ingénieurs dans la conception de bâtiments adaptés à des environnements extrêmes.

## Raconter des histoires à travers les données



**Idée** : Utiliser la narration pour rendre les données sur les pertes de chaleur et l'isolation plus accessibles et engageantes. **Activité** : Les élèves créent des vidéos, infographies ou contenus pour les réseaux sociaux afin de partager leurs résultats et proposer des solutions à un public élargi. **Objectif** : Renforcer les compétences de communication tout en sensibilisant à l'efficacité énergétique. **Inspiration** : Diffuser les productions des élèves via des médias locaux ou des plateformes en ligne pour susciter l'intérêt et inspirer d'autres initiatives.

## Explorer les leviers politiques et économiques



**Idée** : Explorer l'impact des politiques publiques et des incitations sur l'efficacité énergétique à l'échelle locale ou nationale. **Activité** : Les élèves analysent des dispositifs existants (comme les crédits d'impôt pour la rénovation énergétique) et évaluent les scénarios coûts-avantages d'une amélioration de l'isolation. **Objectif** : Montrer comment la science interagit avec l'économie et la politique pour soutenir les objectifs de durabilité. **Inspiration** : Faire le lien avec les métiers liés à la politique environnementale, l'aménagement du territoire ou le conseil énergétique.

## Isolation et santé au quotidien



**Idée** : Comprendre comment l'isolation influence la qualité de l'air intérieur et le bien-être des occupants. **Activité** : Utiliser des capteurs pour mesurer température, humidité et qualité de l'air dans des espaces isolés et non isolés. **Objectif** : Montrer qu'une isolation efficace favorise la santé en limitant l'humidité, les moisissures et les variations de température. **Inspiration** : Relier les observations aux besoins des populations vulnérables et à l'impact social de l'efficacité énergétique.



## Aller plus loin

1. **Campagnes d'efficacité énergétique dans les collectivités locales : Chaque geste compte : Économiser l'énergie (France)** – Une campagne nationale encourageant les économies d'énergie et promouvant les habitudes écologiques. [Chaque geste compte](#)
2. **Rencontre sur l'efficacité énergétique : Eco-Home Lab(UK)** – Une rencontre pour promouvoir les maisons économes en énergie et sensibiliser à l'isolation thermique. [Eco-Home Lab Meetup](#)
3. **Cartographie par thermographie aérienne : PRRE (Communauté urbaine de La Rochelle, France)** – Un programme régional de soutien à la rénovation énergétique des bâtiments résidentiels, offrant des conseils, du financement et des ressources pour améliorer l'efficacité énergétique. [Cartographie par thermographie aérienne](#)
4. **Audits énergétiques participatifs : Communautés énergétiques coopératives de Tipperary (Ireland)** – Une coopérative aidant les communautés locales à réaliser des audits énergétiques et à mettre en œuvre des solutions de rénovation. [Energy Communities Tipperary](#)
5. **L'Heure de la Terre et les événements de sensibilisation à l'énergie : L'Heure de la Terre(Global)** – Organisé par le WWF, cet événement mondial sensibilise à la conservation de l'énergie et à l'action climatique. [Earth Hour](#)
6. **Initiatives locales de végétalisation urbaine et de toitures fraîches : Cool Roofs NYC (USA)** – Un programme qui installe des toits réfléchissants pour réduire les îlots de chaleur urbains et promouvoir l'efficacité énergétique. [Cool Roofs NYC](#)
7. **Les coopératives citoyennes pour la transition énergétique: Enercoop (France)** – Une coopérative d'énergie renouvelable permettant aux citoyens d'investir et d'utiliser l'énergie verte. [Enercoop](#)
8. **Programmes de bénévolat pour la rénovation des maisons : Programme de rénovation énergétique des maisons d'Habitat pour l'humanité (Global)** – Un programme de bénévolat qui aide les familles à améliorer l'efficacité énergétique de leur maison grâce à la rénovation. [Habitat for Humanity](#)
9. **Groupes de défense du climat: Fridays for Future (Global)** – Un mouvement dirigé par des jeunes qui plaide en faveur de l'action climatique, y compris des politiques de construction durables. [Fridays for Future](#)
10. **Cartographie thermique des bâtiments publics: PrioRéno pour les bâtiments publics (France)** – Un service gratuit proposant une cartographie énergétique du parc de bâtiments publics pour aider à prioriser les plans de rénovation. [PrioRéno pour les bâtiments publics](#)
11. **Ateliers d'éducation communautaire : Programme d'éducation Energy Savings Trust (UK)** – Offre des ressources et des ateliers pour les écoles et les communautés sur la conservation de l'énergie. [Energy Saving Trust](#)
12. **Plaidoyer pour les bâtiments à énergie zéro: Zero Energy Project (USA)** – Défenseur des maisons à énergie zéro et fournissant des ressources pour la mise en œuvre de solutions de construction écoénergétiques. [Zero Energy Project](#)



# Bibliographie

## Références scientifiques :

1. **ASHRAE Handbook—Fundamentals**
  - Un guide complet sur les performances thermiques des bâtiments, le transfert de chaleur et les normes d'isolation.
  - Éditeur : ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers)
2. **Thermal Insulation Handbook for the Building Professional**
  - Auteur : Thomas J. Fennell
  - Une ressource pratique sur les matériaux isolants, les principes de conception et les mesures de performance.
3. **Thermal Properties of Building Materials: Concepts and Applications**
  - Auteur : R.W. Powell
  - Explique la conductivité thermique, la résistance et les matériaux avancés utilisés dans la construction.

## Outils et ressources techniques :

1. **Manuel d'utilisation de la caméra thermique FLIR**
  - Instructions pour utiliser efficacement les caméras thermiques lors des inspections de bâtiments.
  - Disponible sur le site officiel [FLIR Systems website](#).
2. **Guide de comparaison des matériaux d'isolation**
  - Une comparaison côte à côte des matériaux isolants courants, notamment la mousse, la cellulose, la fibre de verre et la laine.
  - Disponible sur [Energy.gov](#).
3. **Umap**
  - uMap vous permet de créer des cartes (par exemple des cartes thermiques urbaines personnalisées) avec des couches OpenStreetMap en une minute et de les intégrer à votre site.
  - [Umap website](#)
4. **Outils d'analyse du cycle de vie**
  - Des outils comme [SimaPro](#) ou [OpenLCA](#) pour évaluer l'impact environnemental des matériaux isolants.

## Études de cas et applications :

1. **Institut de la Maison Passive**
  - Recherches et études de cas sur les bâtiments à haute efficacité énergétique.
  - Plus d'informations: [Passive House International](#).
2. **Stratégies d'atténuation des îlots de chaleur urbains**
  - Publié par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA).
  - Explore comment la conception urbaine influence la rétention de chaleur et l'efficacité énergétique.
  - Disponible sur le site [EPA Urban Heat Islands](#).
3. **Alliance mondiale pour des villes cool**
  - Études et stratégies pour réduire les îlots de chaleur urbains grâce aux toits frais, aux espaces verts et à une meilleure isolation.
  - Plus d'informations: [Global Cool Cities Alliance](#).

## Ressources pédagogiques :

1. **Expériences d'isolation pour les salles de classe**
  - Guides d'activités pratiques pour tester les propriétés d'isolation thermique dans les écoles.
  - Disponible sur le site [TeachEngineering.org](#).
2. **Imagerie thermique et efficacité énergétique**
  - Un cours en ligne gratuit sur l'utilisation de l'imagerie thermique pour les inspections de bâtiments.
  - [http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325\\_EN.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf)
3. **Objectifs de développement durable des Nations Unies (ODD)**
  - Découvrez l'ODD 7 (Énergie propre et d'un coût abordable) et l'ODD 11 (Villes et communautés durables).

- Plus d'informations: [United Nations SDGs](#).

### **Articles et documents scientifiques :**

1. **A New Approach for Analysis of Complex Building Envelopes in Whole Building Energy Simulations**
  - Auteurs : J. Kosny et al.
  - Se concentre sur la science du transfert de chaleur dans les matériaux de construction.
2. **Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review.**
  - Auteurs : Nuruzzaman, Md.
  - Journal : Journal international de surveillance et d'analyse de l'environnement
  - Discute de la relation entre l'isolation des bâtiments et les îlots de chaleur urbains.
3. **Smart Materials Innovative Technologies in architecture; Towards Innovative design paradigm**
  - Auteurs : Abeer Samy Yousef Mohamed
  - Revue : Procedia énergétique
  - Explore les technologies d'isolation avancées comme les aérogels et les matériaux à changement de phase.