



Physique pour Tous !

Physique du quotidien

Zoom sur les phénomènes et objets qui animent nos cuisines



Eric Chabert



La cuisine

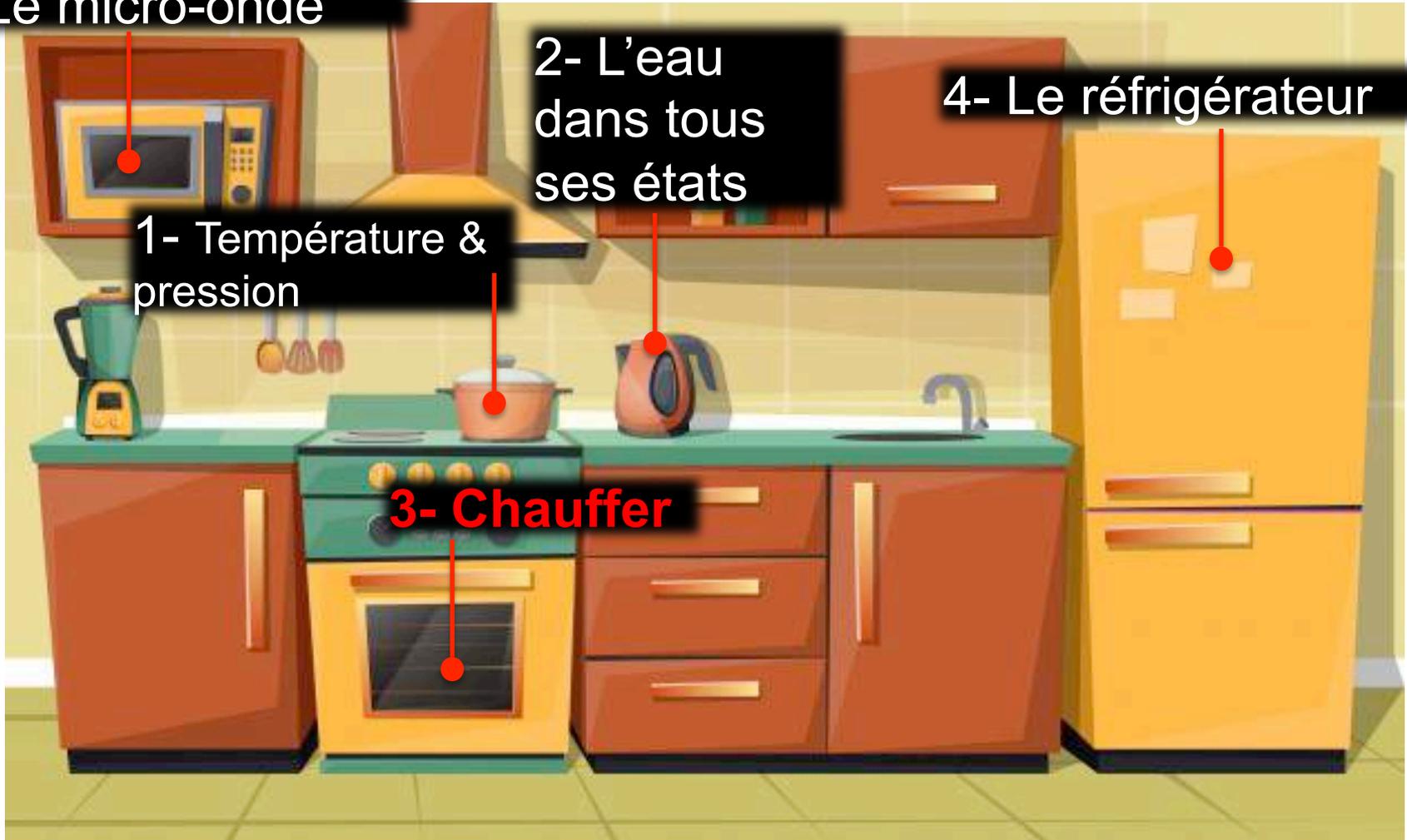
5- Le micro-onde

2- L'eau
dans tous
ses états

4- Le réfrigérateur

1- Température &
pression

3- Chauffer



Mode d'emploi



Quiz en ligne

Sur le site www.menti.com
ou sur l'application *mentimeter*
Code à saisir



Partie plus "technique"
Public "scientifique"



PISTE ROUGE

Ce qu'il fallait retenir



**Idées d'expériences à faire
à la maison (ou à l'école)**

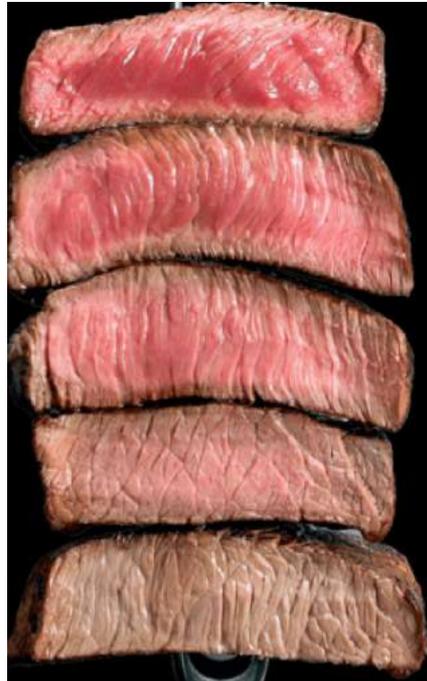
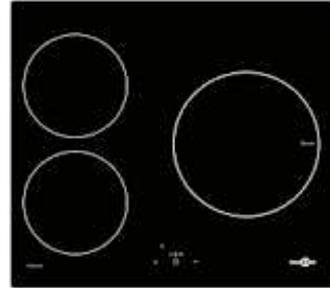
Place aux questions à
la fin de chaque partie



Interrogations "surprises"



Chauffer: pourquoi & comment ?

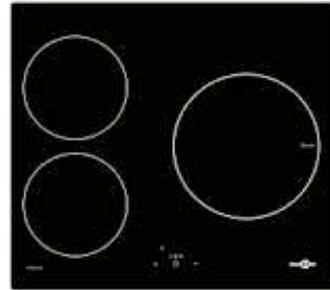


Physique pour Tous !



Comment chauffer/cuire ?

Electricité



Combustion



Rayonnement



Cuire ... tout un art !!



braiser faire
griller pocher
revenir sauter
rôtir saisir
fumer mijoter
poêler confire



La cuisson ... une nécessité

La cuisson modifie l'aspect (texture, couleur), le goût, mais aussi les qualités nutritives et la toxicité des aliments.

→ Réactions physico-chimiques

1) Détruire les germes et bactéries (ex: E.coli)

→ Important pour la viande (au moins 60°C)

→ ainsi que pour les œufs



2) Rendre les aliments digestes

→ les pommes de terre, le riz, les céréales (blé, ...)

Modifie la structure des fibres → moins irritantes



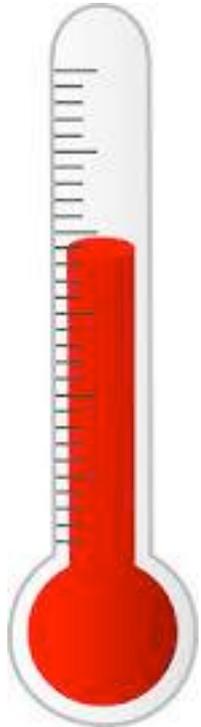
3) Changer l'aspect & le goût des aliments

→ griller, caraméliser, ...

→ tendreté de la viande (*hydrolyse du collagène*)



Cuisson: *autres effets*



120°C: Décomposition des graisses et des dernières vitamines

110°C: Vitamines A et D oxydées

100°C: Précipitation des sels minéraux

90-95°C: Vitamines B1- B9 & E détruites

70-100°C: Hydrolyse des protéines (*~coupure*)

60-75°C: Vitamine C détruite

40-75°C: Destruction des enzymes

- Il n'est pas nécessaire de faire cuire tous les aliments (surtout les légumes).
- La cuisson à trop haute température des légumes est fortement déconseillée par les nutritionnistes.



La cuisson – choix du milieu

Liquides:

- Eau
- Vin
- Bière
- Lait
- Sirop
- court-bouillon
- ...



Corps gras:

Huile, beurre, ...



Gaz:

Air, vapeur, ...



La cuisson - la température

Avec "brunissement"

Air

- Griller
- Rôtir
- Braiser



Corps gras

- Frire
- Poêler
- Sauter



Liquide

- Pocher
- Mijoter



Cuisson

- sous vide
- à la vapeur
- au micro-ondes



Cuisson des viandes rouges



Température à cœur

75°C - très bien cuit

70°C - bien cuit

65°C - à point

60°C - saignant

55°C - bleu



Cuisson

TEMPÉRATURES DE CUISSON "À CŒUR"

	<u>Bleu</u>	<u>Saignant</u>	<u>À Point</u>	<u>Bien cuit</u>
BOEUF	45-50°C	50-55°C	60°C	760°C
PORC	/	/	65° → 80°	
AGNEAU	55°C	60°C	68°C	70-75°C
VEAU	/	55°C →	68°C	75°C
CANARD	55°C	62°C	65 → 68°C	
LAPIN	/	/	68°C	
SAUMON		45° rosé	54°C	
BAR, DAURADE		51°C	54°C	

Les terrines

	<u>Mi cuit</u>	<u>Cuit</u>
- de foie gras	48°C	62°C
- de campagne		80°C
- de volaille		72°C
- de poisson		70°C

La pâtisserie

- fondant pâtissier 37°
- confiture 104°
- crème anglaise 81°



Comment chauffer ?

Des choix pratiques à faire:

- Choisir un **appareil** / un **mode** de cuisson
- Déterminer la **température** de cuisson
- Déterminer le **temps** de cuisson

Questions:

- Quels sont les modes de production de chaleur ?
 - Aujourd'hui on ne parlera que de *l'effet Joule*
- Comment déterminer le temps nécessaire ?
 - On traitera l'exemple d'un liquide: l'eau
- Comment se propage la chaleur dans les aliments ?
 - Discuter dans la dernière partie



Menu du jour

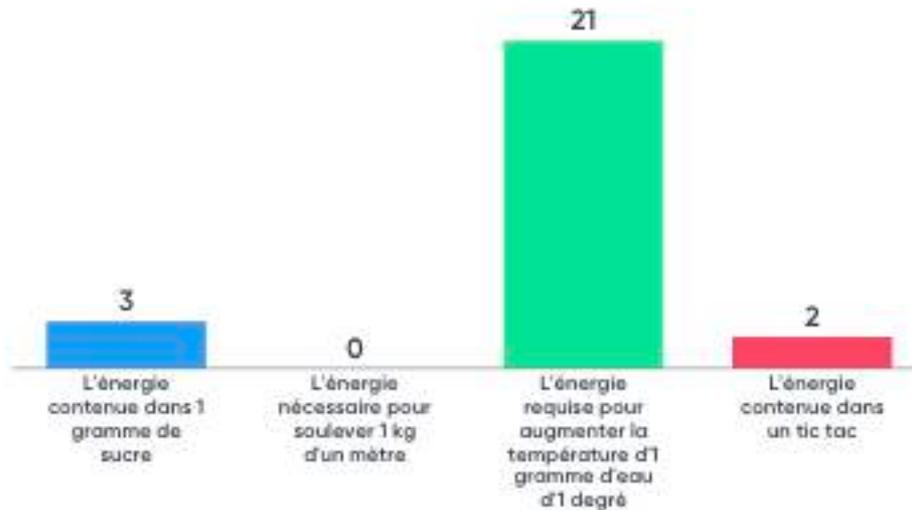
- Pourquoi & comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?**
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction
 - La convection
 - Le rayonnement



Quiz

Qu'est-ce qu'une calorie ?

Qu'est-ce qu'une calorie ?



Quiz

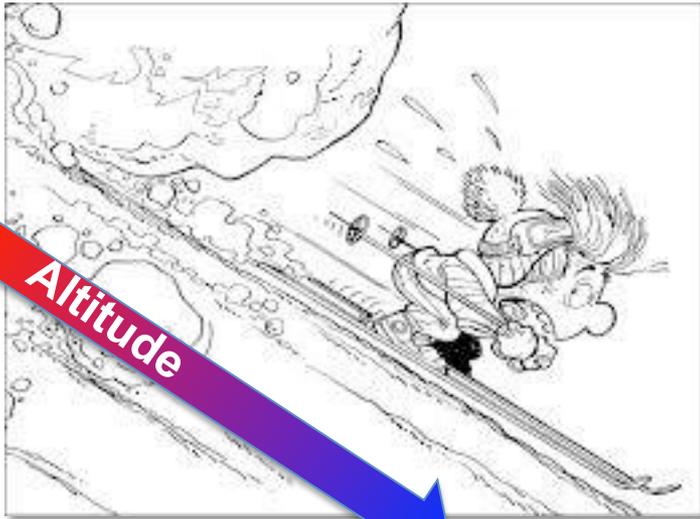
Qu'est-ce qu'une calorie ?

Réponse: c'est une unité de chaleur, qui est une forme d'énergie

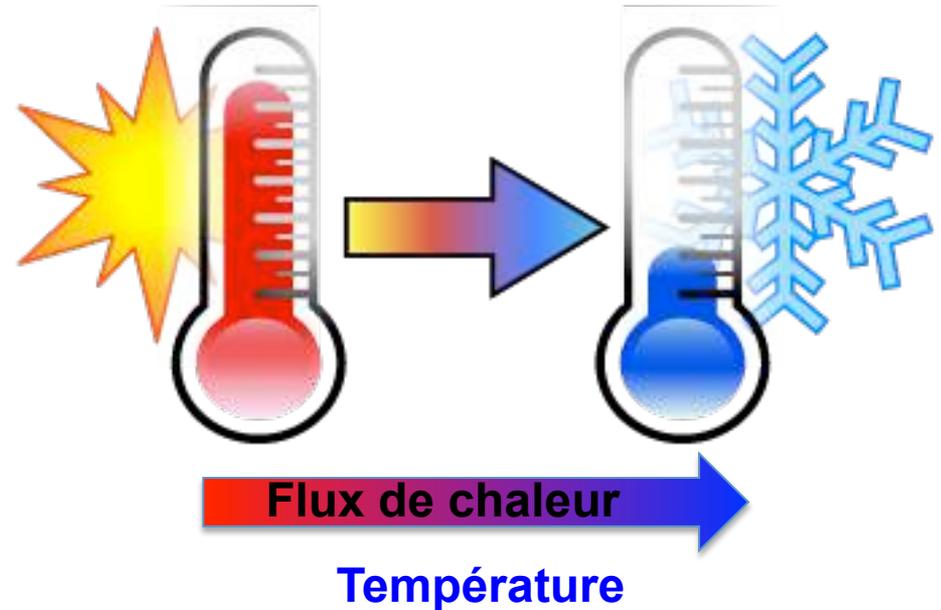
→ Qu'est-ce que la chaleur ?



La chaleur: un transfert d'énergie

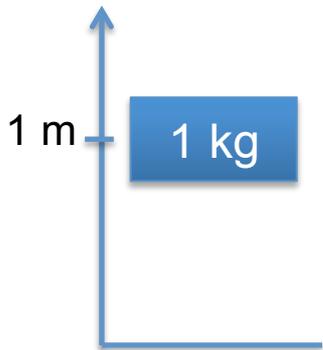


Energie
potentielle
gravitationnelle



Quiz

Qu'est-ce qu'une calorie ?



$$\begin{aligned} E &= m \times g \times h \\ &= 1 \times 9.81 \times 1 \\ &= 9.8 \text{ J} = 9.81 \times 4.18 \\ &= 41 \text{ Calories} \end{aligned}$$



1 g de sucre
= 4 Kcal
= 4000 Calories



0.4 Kcal / tic tac
= 400 Calories



Qu'est-ce qu'une calorie ?

C'est une unité de la chaleur

Définition:

1 calorie = **énergie** nécessaire pour augmenter la **température** d'1 gramme d'eau d'1 degré Celsius/Kelvin

→ Température et chaleur sont deux concepts reliés mais différents !!

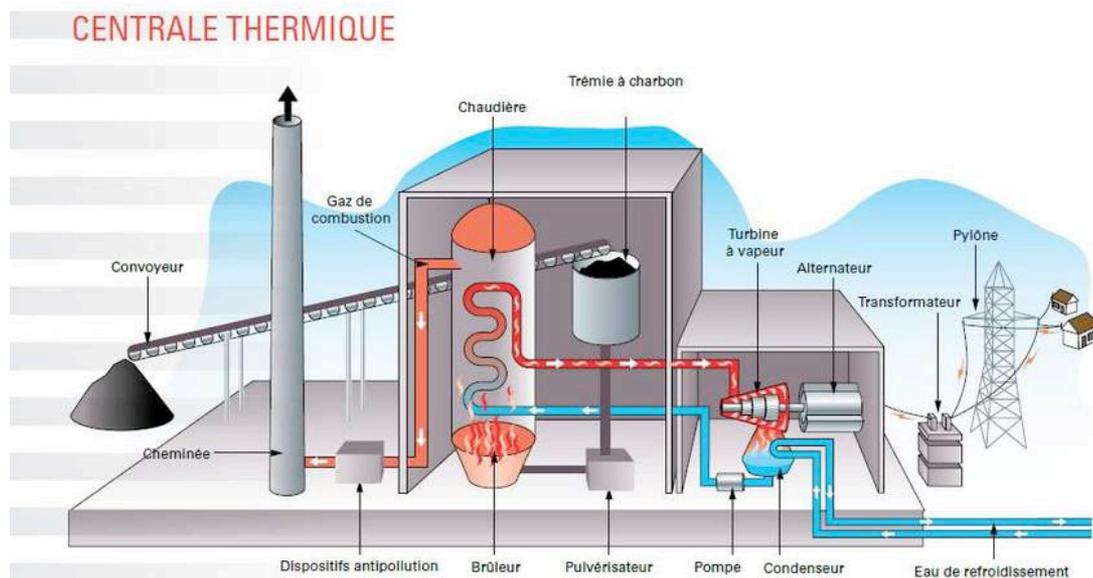
Conversion: 1 calorie = 4.18 Joules



Qu'est-ce qu'une calorie ?

L'énergie peut prendre différentes formes.

Plusieurs types de transformations sont possibles.



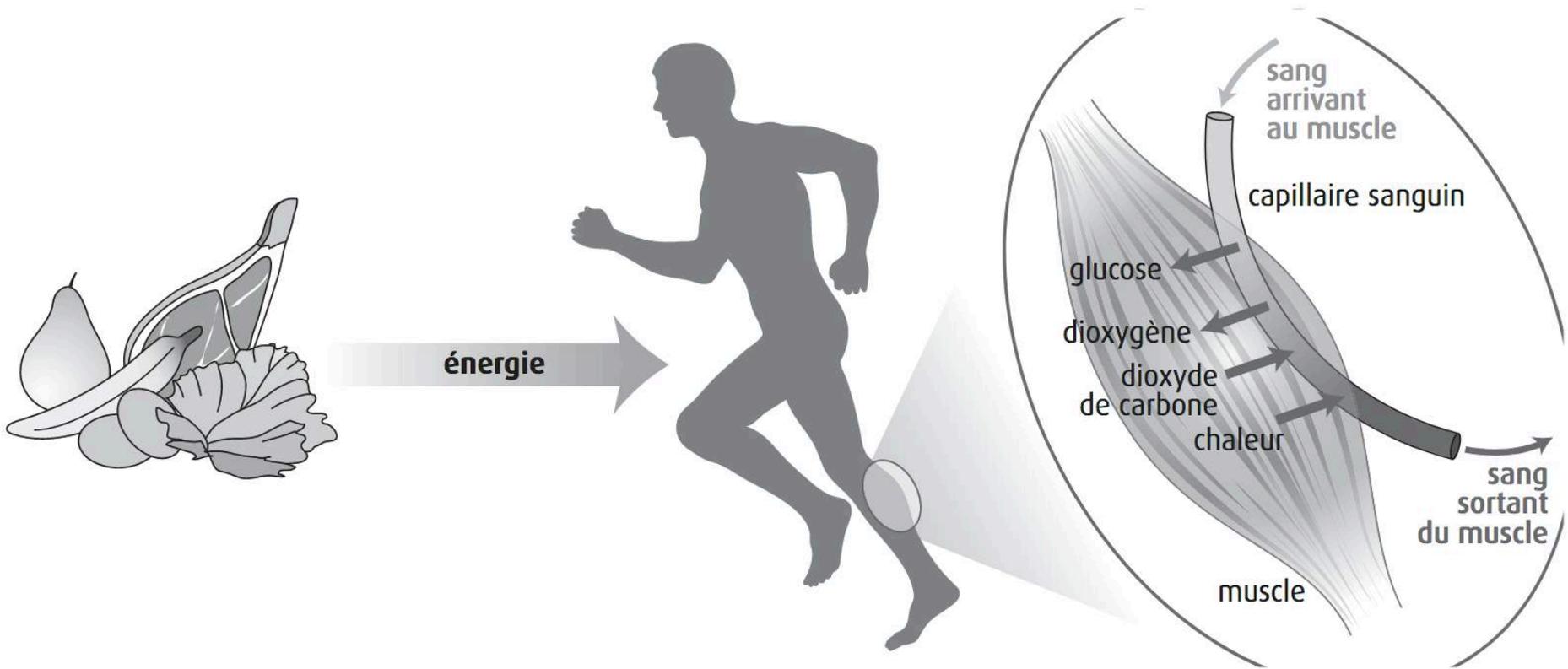
Electricité



Chaleur



Aliments = source d'énergie



Cuisine et calories

1 gramme	Kilo Calories	Aliments
Protéines	4	Viandes, poissons, ...
Glucides	4	Pâtes, riz, ...
Alcool	7	Bière, vin, ...
Lipides	9	Beurre, huile, ...



Un BigMac	509 kcal
Un pain au chocolat	286 kcal
Une peinte de bière	227 kcal
Un Mars	226 kcal
Un croissant	170 kcal
Un whisky-coca	150 kcal
Une canette de coca-cola (33cl)	148 kcal
Un yaourt sucré	105 kcal
Un biscuit Prince	90 kcal
Une pomme	55 kcal
Un concombre	10 kcal

Valeurs Nutritionnelles	pour 100 g	par portion de 390 g	% des AQR* par portion
Énergie	478 kJ 114 kcal	1864 kJ 446 kcal	22 %
Matière grasses dont acides gras saturés	5,7 g 2,0 g	22,1 g 7,7 g	32 % 39 %
Glucides dont sucres	10,9 g 1,4 g	42,7 g 5,6 g	16 % 6 %
Fibres alimentaires	1,1 g	4,2 g	
Protéines	4,4 g	17,0 g	34 %
Sel	0,72 g	2,82 g	47 %

*Apports Quotidiens de Référence pour un adulte type (8400 kJ / 2000 kcal).
Ce plat cuisiné contient 446 kcal pour une portion de 390 g. Déjeuner et dîner devraient respectivement couvrir 40 et 30% de vos besoins journaliers.

Ces données sont fournies à titre indicatif et peuvent être susceptibles d'évoluer.
Seules les valeurs fournies sur l'emballage du produit font foi.

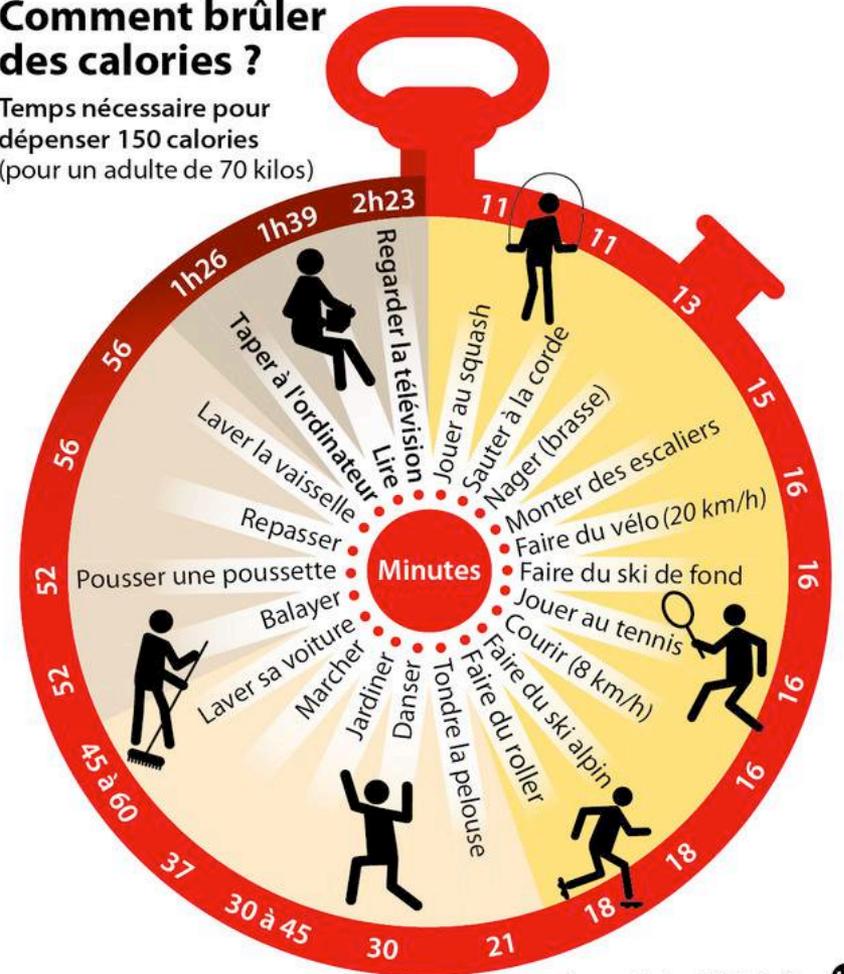


Calorie et activités physiques



Comment brûler des calories ?

Temps nécessaire pour dépenser 150 calories (pour un adulte de 70 kilos)



Source : Université du Québec

Calories → KCal



Calorie et activités physiques

PISTE ROUGE



- Un coureur de 70 kg dépense **70 kCal** par km
- En courant 10 km, il dépensera **700 kCal**, soit à peut-être 1/3 des besoins journaliers (>2000 kCal pour un homme)

Régime:

Si toute l'énergie provenait des graisses, combien de graisse le coureur brûlerait-il ?

$$\begin{aligned} 9 \text{ Kcal} &\leftrightarrow 1 \text{ g de lipides} \\ 700 \text{ kCal} &\leftrightarrow 700/9 = 78 \text{ g de lipides} \end{aligned}$$

Il faudrait courir presque 130 km pour perdre 1 kg de masse grasse. Dans la réalité, moins d'un tiers de l'énergie brûlée lors d'un effort sportif peut provenir des ressources adipeuses ...



NB: Les apports nutritionnels ne se résument pas à un nombre de calories à ingérer ...



Calorie et température

Qu'est-ce qui relie ces deux quantités ?



Pour répondre à cette question, nous allons utiliser une **analogie** avec l'énergie (potentielle) gravitationnelle.



Qui a le plus d'énergie ?



Masse = 30 kg

Hauteur = 10 m



Masse = 300 kg

Hauteur = 1 m



$$\text{Energie} = \text{Masse} \times \text{Hauteur} \times 9$$
$$[\text{Joules}] = [\text{kg}][\text{m}][\text{m/s}^2]$$



Masse = 30 kg

Hauteur = 10 m

$$\text{Energie} = 30 \times 10 \times 9.8$$
$$= 2940 \text{ Joules}$$



Masse = 300 kg

Hauteur = 1 m

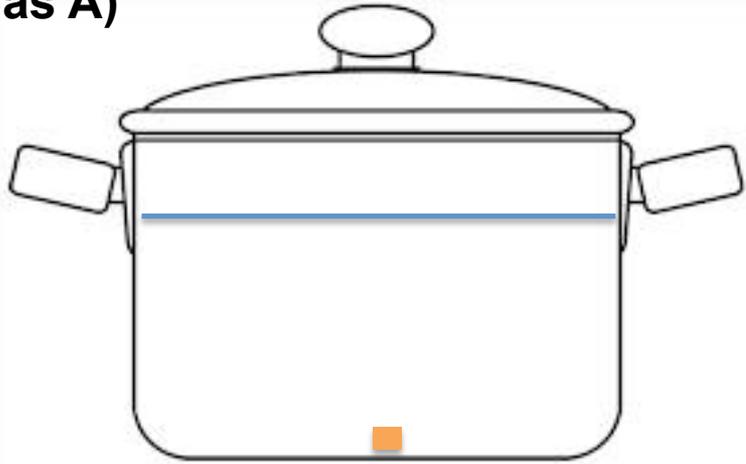
$$\text{Energie} = 300 \times 1 \times 9.8$$
$$= 2940 \text{ Joules}$$



Qui échangera le plus de chaleur ?

Soit une marmite remplie d'eau à 20°C
On dépose un objet métallique chaud à l'intérieur.
Dans quel cas la température de l'eau sera-t-elle la plus chaude en sortie ?

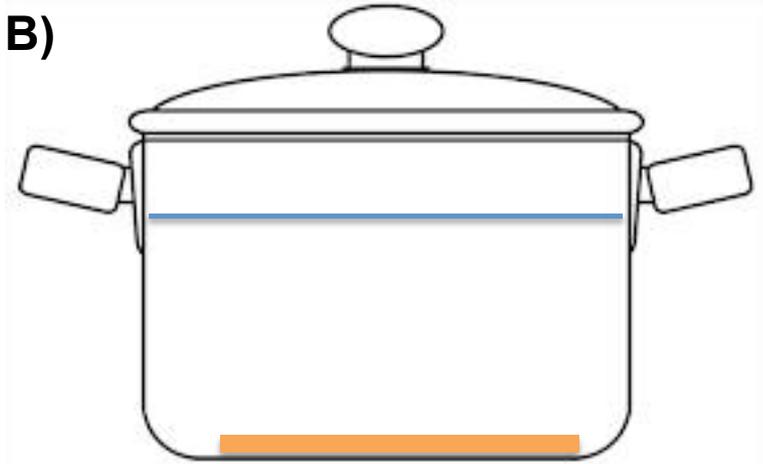
Cas A)



Masse = 10 g

Température = 120°C

Cas B)



Masse = 100 g

Température = 40°C

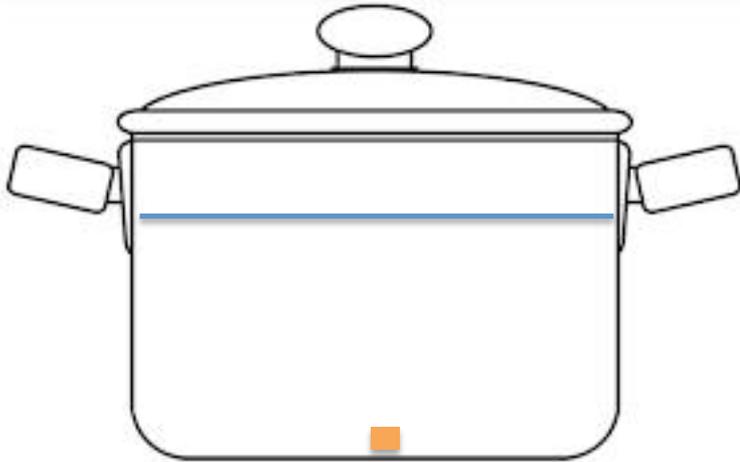


$$\text{Energie} = \text{Masse} \times \text{Température} \times C$$

$$[\text{Joules}] = [\text{kg}][\text{K}][\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$$

C: capacité calorifique

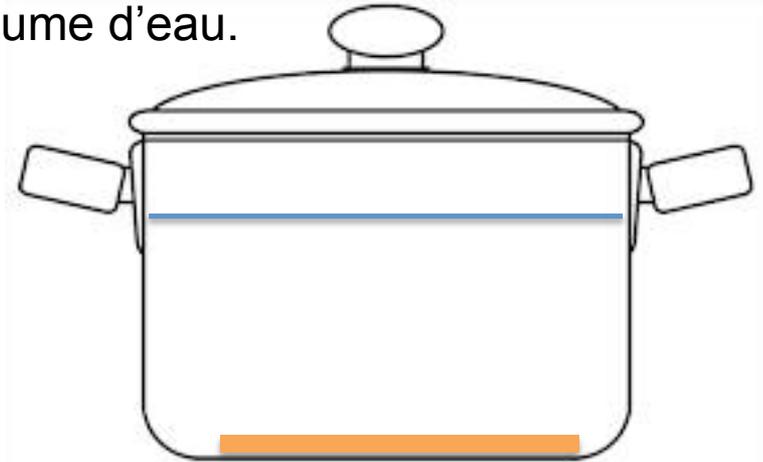
Bien que la matière ajoutée soit moins chaude, la masse introduite est telle, qu'elle réchauffera plus le volume d'eau.



Masse = 10 g

Température = 120°C

$$\begin{aligned}\Delta E &= m \times \Delta T \times C \\ &= 0.01 \times 100 \times C = 1 \times C\end{aligned}$$



Masse = 100 g

Température = 40°C

$$\begin{aligned}\Delta E &= m \times \Delta T \times C \\ &= 0.1 \times 20 \times C = 2 \times C\end{aligned}$$



Capacité calorifique: analogie

$$E = M \times H \times g$$

g: capacité de la Terre à donner de l'énergie potentielle à la masse M

$$E = M \times T \times C$$

C: capacité du corps à emmagasiner de l'énergie par unité de température et de volume



1000 J/Kg/K

air

2000 J/Kg/K

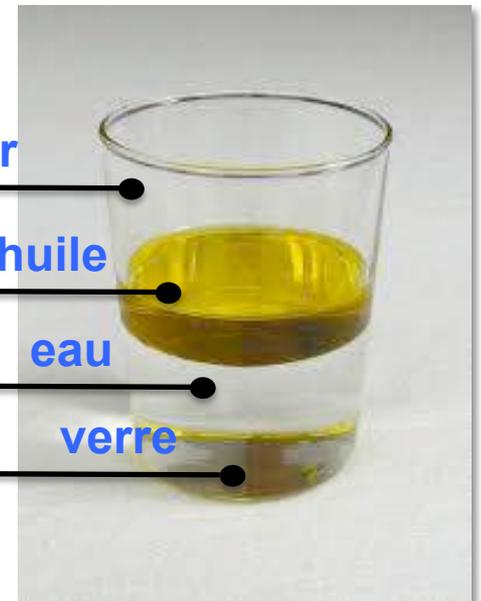
huile

1850 J/Kg/K

eau

720 J/Kg/K

verre



Capacité calorifique

- La capacité calorifique permet de savoir quelle quantité d'énergie peut-être stockée (par kg et par degré C/K)
- Elle permet d'obtenir une relation entre énergie (chaleur) et température
- Elle ne nous dit rien sur les modes de transfert d'énergie ni sur leur "dynamique"
→ *Discuter dans la dernière partie de ce cours*

NB: aussi appelée capacité thermique (massique)

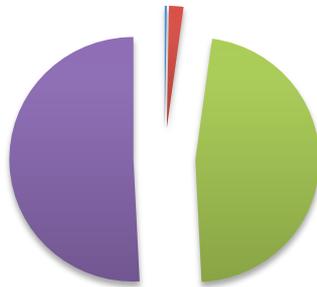


Energie stockée

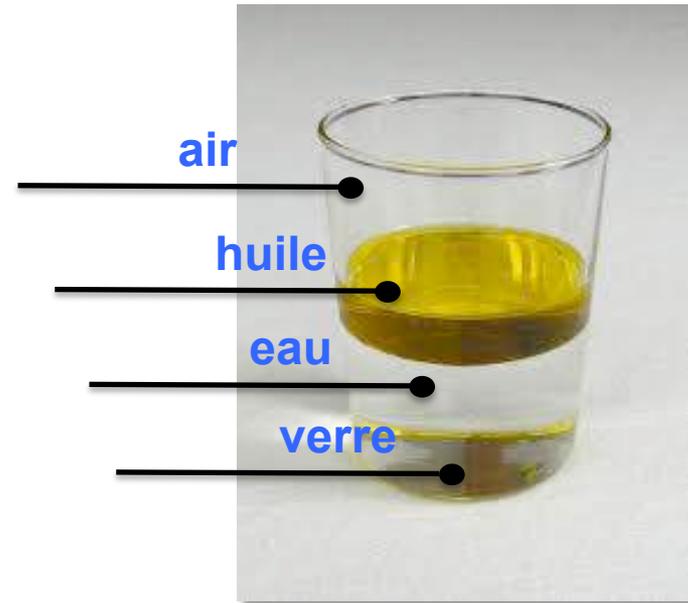
En plus de la capacité calorifique, il faut connaître la masse des corps

Masse	Capacité calorifique
5 cl → ~0.06 g	1000 J/Kg/K
2 cl → 18 g	2000 J/Kg/K
10 cl → 100 g	1850 J/Kg/K
150 g	720 J/Kg/K

calories



- air
- huile
- eau
- verre



Le verre constitue un réservoir de chaleur aussi important que son contenu !



Différentes formes d'énergie

Gravitationnelle



Cinétique



Chimique



Electrique



Chaleur



Nucléaire



Equivalence - énergie



Énergie gravitationnelle: 5 GJoules

A380 - 500-800 pers. – 500 Tonnes – Altitude = 10 km

Énergie cinétique: 25 GJoules

Eurostar: 18 wagons – 750 Tonnes – $V = 300$ km/h



Énergie calorifique: 2.5 GJoules

Piscine Schiltigheim – 50x21x1.7 - $T: 20^{\circ}\text{C}$

Énergie électrique: 25 GJoules

Consommation annuelle /an /hab



Énergie chimique: 42 GJoules

1 tonne d'essence



Énergie nucléaire: 76 GJoules

1 gramme d'Uranium 235



Equivalence - énergie



Gravitationnelle



Cinétique



Chaleur

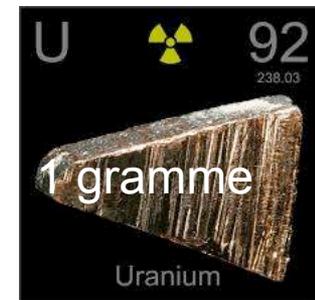


Chimique



Électrique
(conso 3 pers sur 1 an)

Nucléaire



CQFR: *calorie et chaleur*



- ❑ **Calorie** = **énergie** nécessaire pour augmenter la **température** d'1 gramme d'eau d'1 degré Celsius/Kelvin
 - ❑ 1 calorie = 4.18 Joules
 - ❑ 1 homme brûle environ 2000 Kcal par jour
 - ❑ 1 gramme de protéines/glucide = 4 Kcal

- ❑ **Chaleur**: énergie interne d'un corps (énergie thermique)

- ❑ Transfert de chaleur → équilibre des températures

- ❑ Relation entre chaleur et température
→ Introduction de la **capacité calorifique**

A chalkboard with a wooden frame containing the equation $E = M \times T \times C$. The letters are colored: E is yellow, M is blue, T is red, and C is green. The equals sign and multiplication signs are white.



Menu du jour

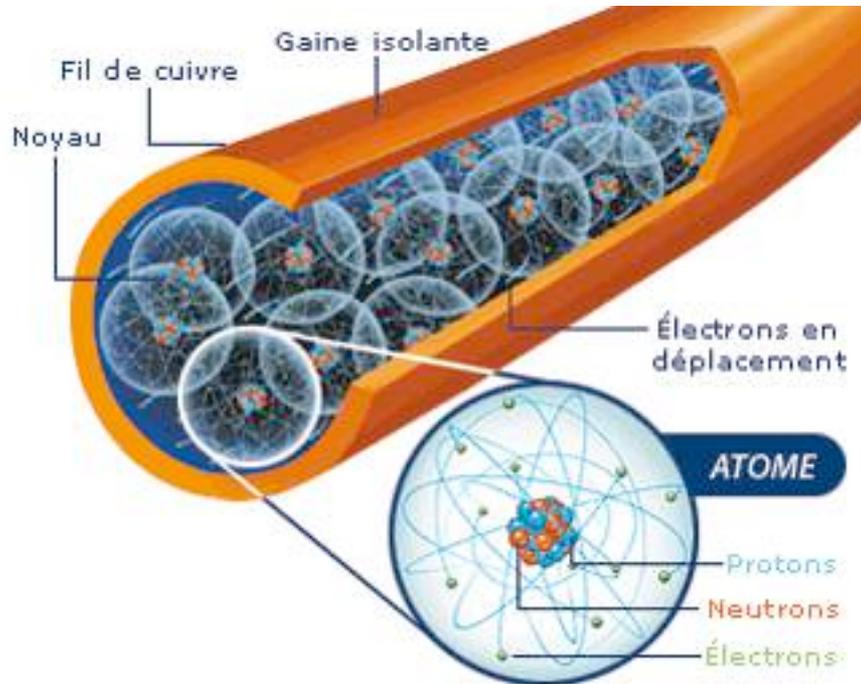
- Pourquoi & comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?**
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction
 - La convection
 - Le rayonnement



COMMENT FONCTIONNE UNE BOUILLOIRE ?



L'électricité: kezako ?

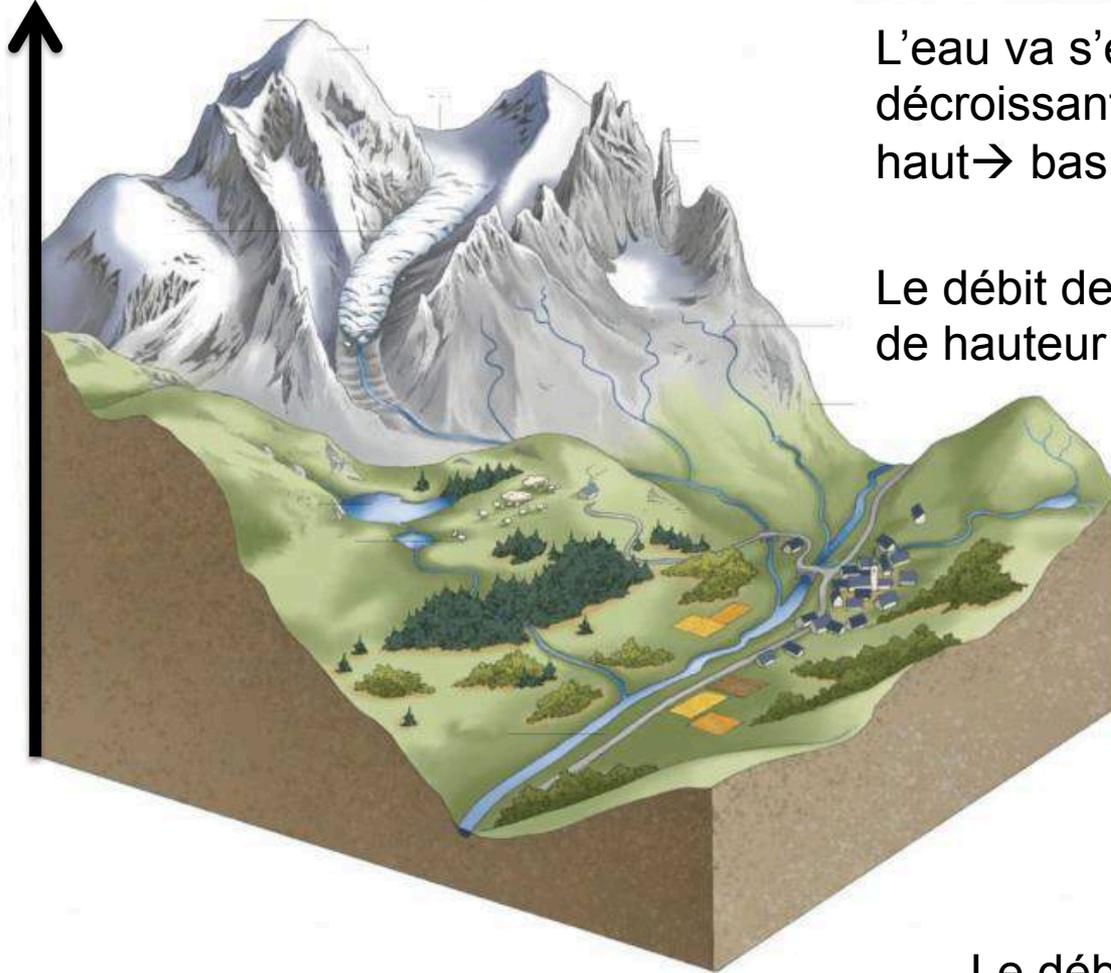


- La matière est constituée de d'atomes: noyau + électrons
- Bien que globalement neutre, la matière est constituée de particules chargées
- Le courant électrique est constitué par des électrons se déplaçant au sein d'un conducteur (ex: cuivre)



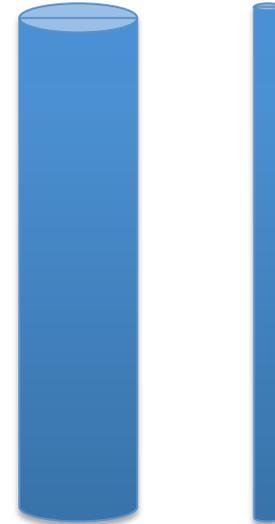
Analogie

Altitude – Potentiel gravitationnel



L'eau va s'écouler en suivant les potentiels décroissants :
haut → bas

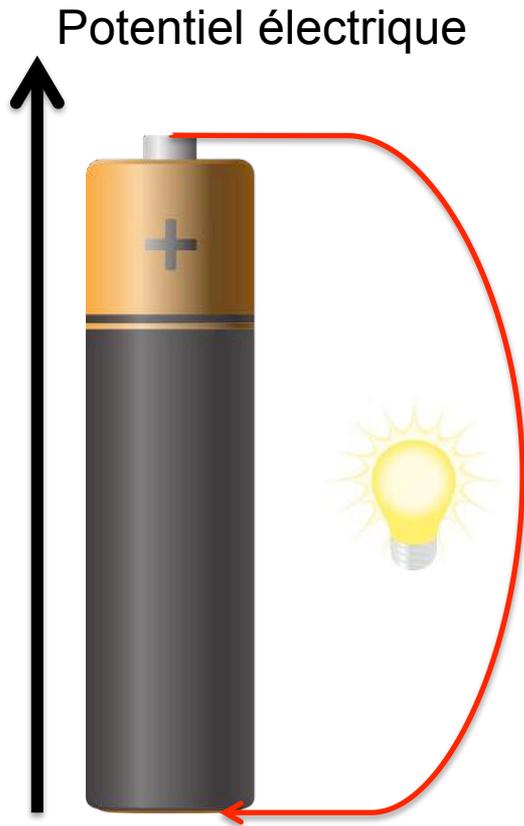
Le débit de l'eau dépendra de la différence de hauteur mais pas seulement



Le débit de l'eau dépendra également du **diamètre** des tuyaux/canalisation, ...



Analogie

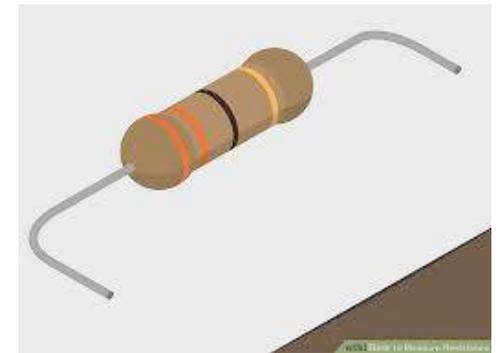
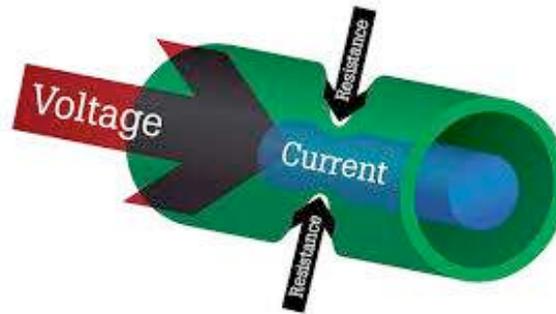


Le courant va circuler en suivant les potentiels décroissant.

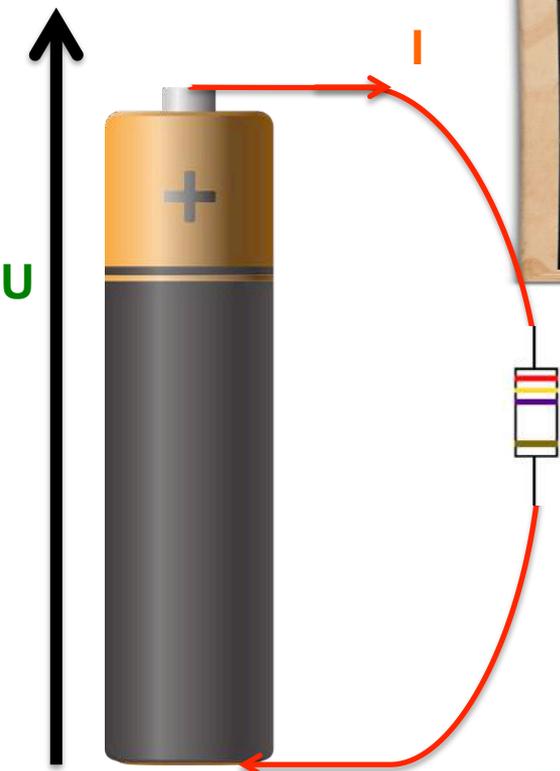
On parle de différence de potentiel ou de **tension** qui s'exprime en **Volt**

Le **courant électrique** s'exprime en **Ampère**
= charges électriques par seconde

La résistance [Ohm] d'un circuit réduit le courant électrique.



La loi d'ohm

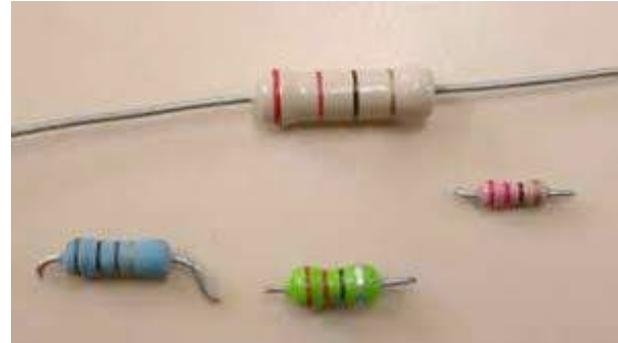
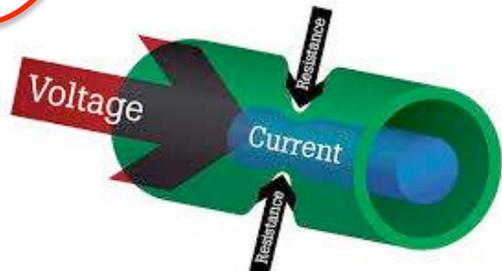


$U = R \times I \rightarrow I = U/R$

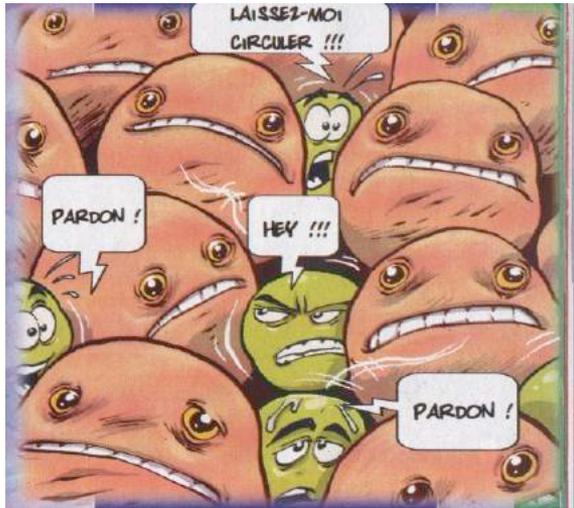
Tension = Résistance \times Intensité

Résistivité ρ à 27 °C ($\Omega \cdot m$)	
Argent	$1,6 \times 10^{-8}$
Cuivre	$1,7 \times 10^{-8}$
Or	$2,2 \times 10^{-8}$
Aluminium	$2,7 \times 10^{-8}$
Fer	$10,4 \times 10^{-8}$
Carbone	$3\,500 \times 10^{-8}$

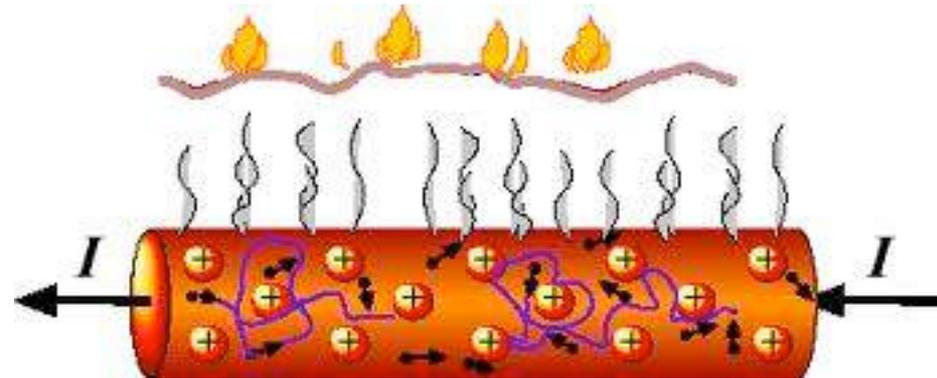
Le cuivre est un bon conducteur. Souvent utilisé pour transporter l'électricité.



“L’effet Joule”



Le **libre parcours moyen** (distance moyenne entre 2 chocs) d’un électron dans du fil de cuivre: ~ 0.1 micron
→ À chaque interaction, les électrons peuvent céder une partie de leur énergie (cinétique) et ainsi échauffer le matériau.



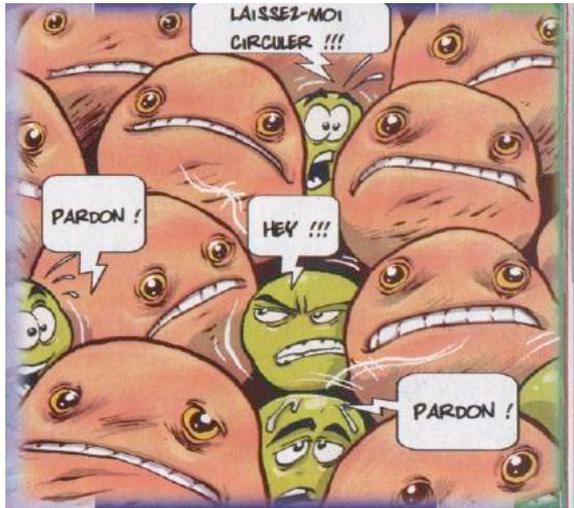
$$P = R \times I^2$$

dissipée

La **puissance** dissipée par **effet Joule** dépend du **courant** au carré et non de la tension.



“L’effet Joule”



Le **libre parcours moyen** (distance moyenne entre 2 chocs) d’un électron dans du fil de cuivre: ~ 0.1 microns
→ À chaque interaction, les électrons peuvent céder une partie de leur énergie (cinétique) et ainsi échauffer le matériau.



Les pertes par *effet Joule* sont minimisées

$$P = R \times I^2$$

dissipée

$$P = U \times I$$

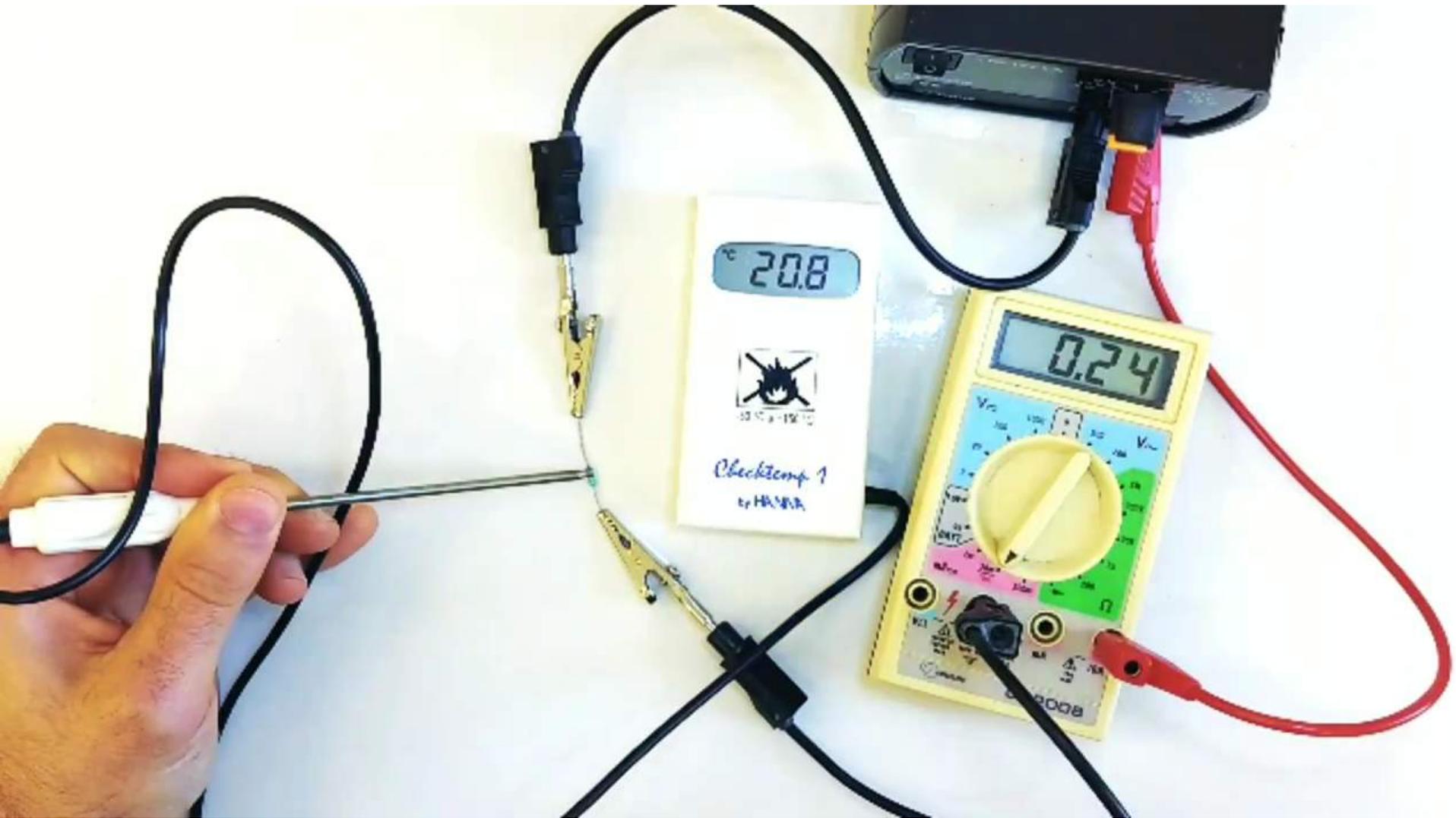
transmise

Les transformateurs permettent de conserver la puissance transmise en diminuant le courant (I) et en augmentant la tension (U).

→ Ligne à haute tension (centaines de kVolts)



L'effet Joule



<https://www.youtube.com/watch?v=OAu1Z0k3sIE>



L'effet Joule dans la cuisine



Radiateur électrique



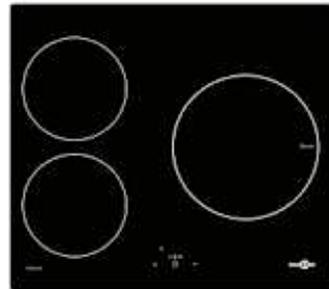
Plaques électriques



Bouilloire



Ampoule à incandescence



Four électrique



CQFR: *principe de la bouilloire*



- ❑ **Électricité** = déplacement de charges électriques (électrons)
 - ❑ La **tension [Volts]** = différence de potentiel (analogie: altitude)
 - ❑ Le **courant électrique [A]** = charges (nb d'électrons) par unités de temps (analogie: débit)

- ❑ **Loi d'Ohm**

$$U = R \times I$$

- ❑ **Effet Joule:**

- ❑ Les chocs répétés des électrons induisent un échauffement
 - des pertes → puissance dissipée
 - proportionnelle au carré du courant
- ❑ Pour chauffer: placer une **résistance**

$$P = R \times I^2$$



Menu du jour

- Comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?**
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction
 - La convection
 - Le rayonnement



Quiz

Combien de temps faut-il pour faire chauffer 1 L d'eau de 20 à 100°C avec une bouilloire ?

Combien de temps faut-il pour faire chauffer 1 L d'eau de 20 à 100 C avec une bouilloire ?



Quiz

Combien de temps faut-il pour faire chauffer 1 L d'eau de 20 à 100°C avec une bouilloire ?

Chauffer dépend :

- Du volume d'eau (1 L)
- Des températures initiale et finale (20 et 100)
- De la **puissance** de la bouilloire !!

Question: Qu'est-ce que la puissance (électrique) ?



A ne pas confondre ...



Force

Record du monde
Soulevé de terre: 523 kg

$$\begin{aligned} \text{Force} &= \text{Masse} \times g \\ \text{Energie} &= M \times g \times h \end{aligned}$$



Vitesse

Record du monde
Vitesse (100 m): 37.6 km/h

$$\text{vitesse} = \frac{\text{distante}}{\text{temps}}$$



Puissance

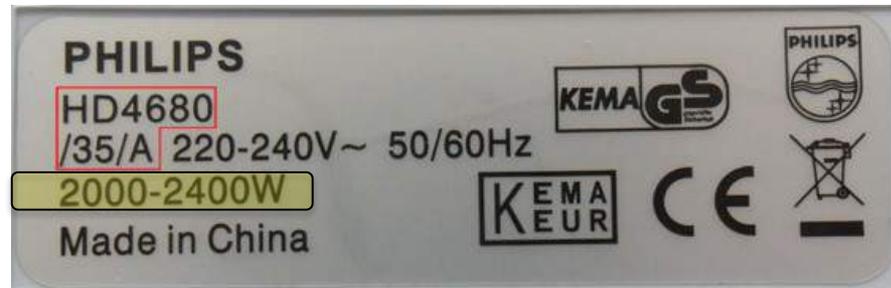
Record sur 10 secondes
~ 1500 Watts

$$\begin{aligned} \text{Puissance} &= \text{force} \times \text{vitesse} \\ &= \text{energie} / \text{temps} \end{aligned}$$



Dans la cuisine

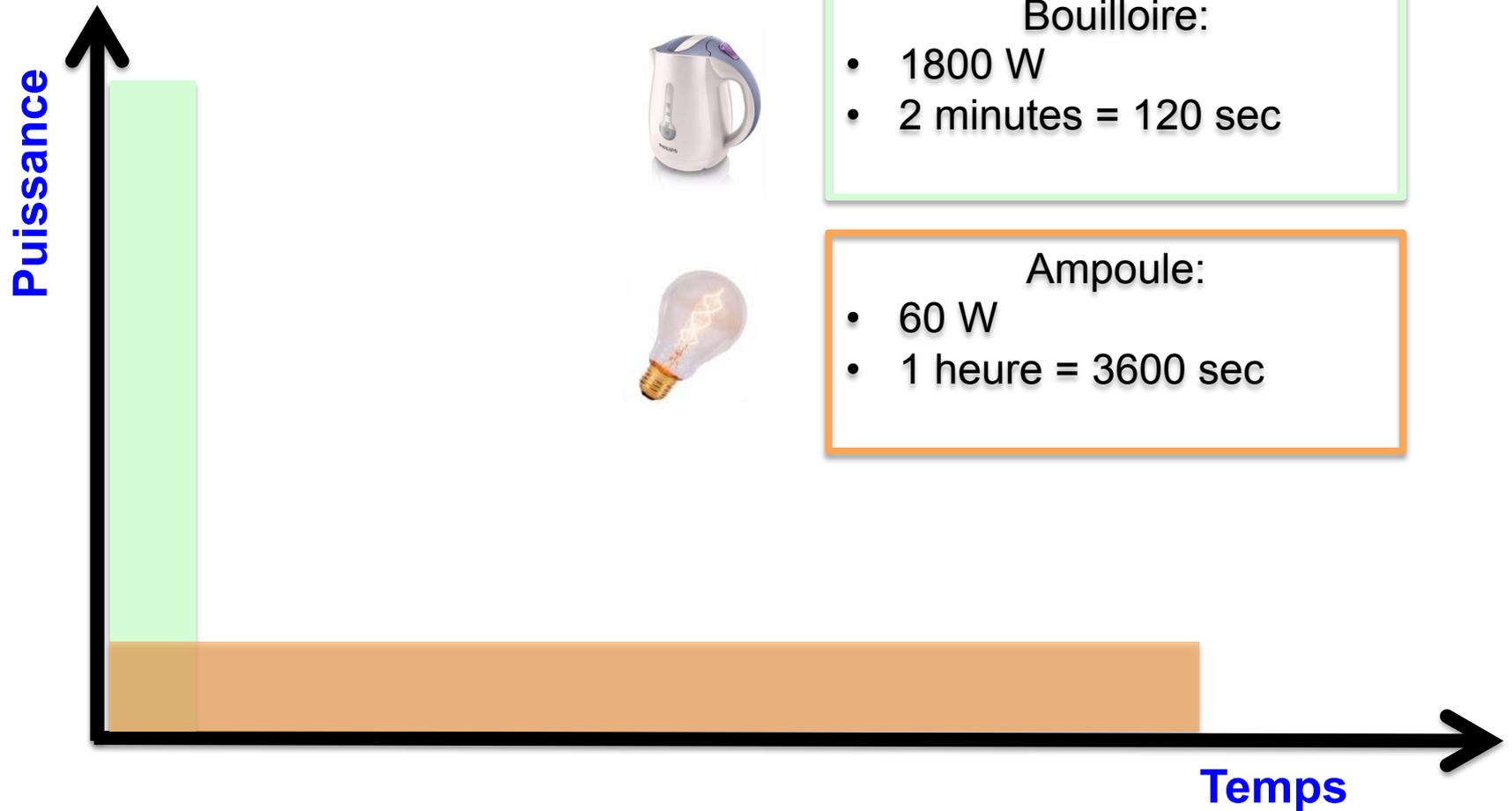
Qu'est-ce qui distingue ces deux bouilloires ?



Les appareils électriques se distinguent entre autre par leur puissance électrique.



Puissance et temps



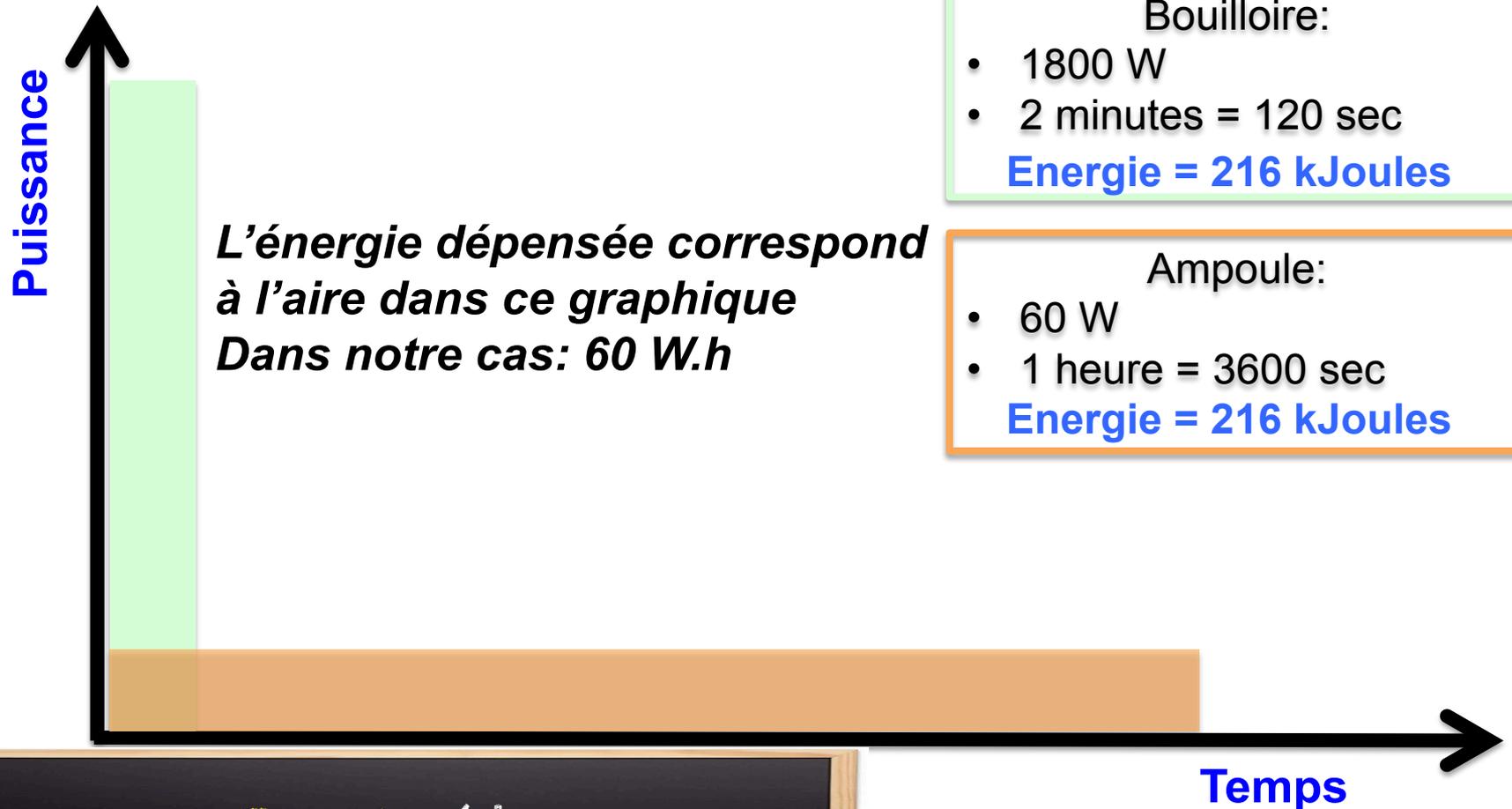
- Bouilloire:
- 1800 W
 - 2 minutes = 120 sec



- Ampoule:
- 60 W
 - 1 heure = 3600 sec



Puissance et temps



Bouilloire:

- 1800 W
- 2 minutes = 120 sec

Energie = 216 kJoules

Ampoule:

- 60 W
- 1 heure = 3600 sec

Energie = 216 kJoules

$$\text{Puissance} = \text{Energie} / \text{temps}$$
$$\rightarrow \text{Energie} = \text{Puissance} \times \text{temps}$$



Dans la cuisine

Qu'est-ce qui distingue ces deux bouilloires ?



Les 2 appareils électriques dissiperont la même énergie mais pendant des temps distincts.

→ Une puissance plus élevée permet de chauffer plus rapidement



Le kWh = kilo Watt . heure

Energie totale consommée sur une période de temps donnée.

$1 \text{ kW.h} = 1000 \times 3600 = 3.6 \text{ millions de Joules}$



Facture d'électricité



Votre contrat Electricité "Tarif Bleu"

Compteur électromécanique n°984

Consommation sur la base d'une estimation	Index début de période	Index fin de période	Consommation (kWh)	Prix Unitaire HT (€/kWh)	Montant HT (€)	Taux de TVA
Du 22/04/2015 au 21/06/2015 06 kVA						
Base	Estimé 31308	Estimé 31459	151	0,0909	13,73	20,0

Total de votre consommation d'électricité (dont acheminement 5,21 €) 13,73

Abonnement	Prix Unitaire HT (€/mois)	Montant HT (€)	Taux de TVA
Abonnement Tarif Bleu 06 kVA Base du 22/06/2015 au 22/08/2015	5,72	11,44	5,5

Total de votre abonnement (dont acheminement 8,22 €) 11,44

Taxes et Contributions	Consommation (kWh)	Prix Unitaire HT (€/kWh)	Montant HT (€)	Taux de TVA
Taxe sur la Consommation Finale d'Electricité (TCFE)	151	0,00954	1,44	20,0
Contribution au Service Public d'Electricité (CSPE)	151	0,01950	2,94	20,0
Contribution Tarifaire d'Acheminement Electricité (CTA)			2,22	5,5

Total taxes et contributions 6,60

Total Electricité hors TVA 31,77

Total hors TVA 31,77

TVA

TVA à 20,0 % sur un montant total de 18,11 €	3,63
TVA à 5,5 % sur un montant total de 13,66 €	0,75

Total TVA 4,38

Calcul des taxes et contributions facturées : CTA électricité : 27,04% HTVA de la part acheminement de l'abonnement



Puissance en cuisine

Micro-ondes:

1000 – 1500 W

Hotte:

70-150 W

Le réfrigérateur

150-350 W

Plaques à induction:

2000-3500 W

Bouilloire:

500-2000 W

Mixeur:

200 -1200 W

Lave-vaisselle: 1000-1500 W

Four:

2000 W

Cafetière: 500-1200 W

Ampoules: 15-60 W



Puissance en cuisine



On peut dépasser une **puissance totale de 10 000 W** lorsque tous les appareils sont en marche ...

C'est équivalent à la puissance produite par un peloton de **25 coureurs cyclistes** professionnels ...
(400 W/pers → 25 cyclistes)



Consommation électrique

Cela dépend de la puissance et du temps d'utilisation de l'appareil.

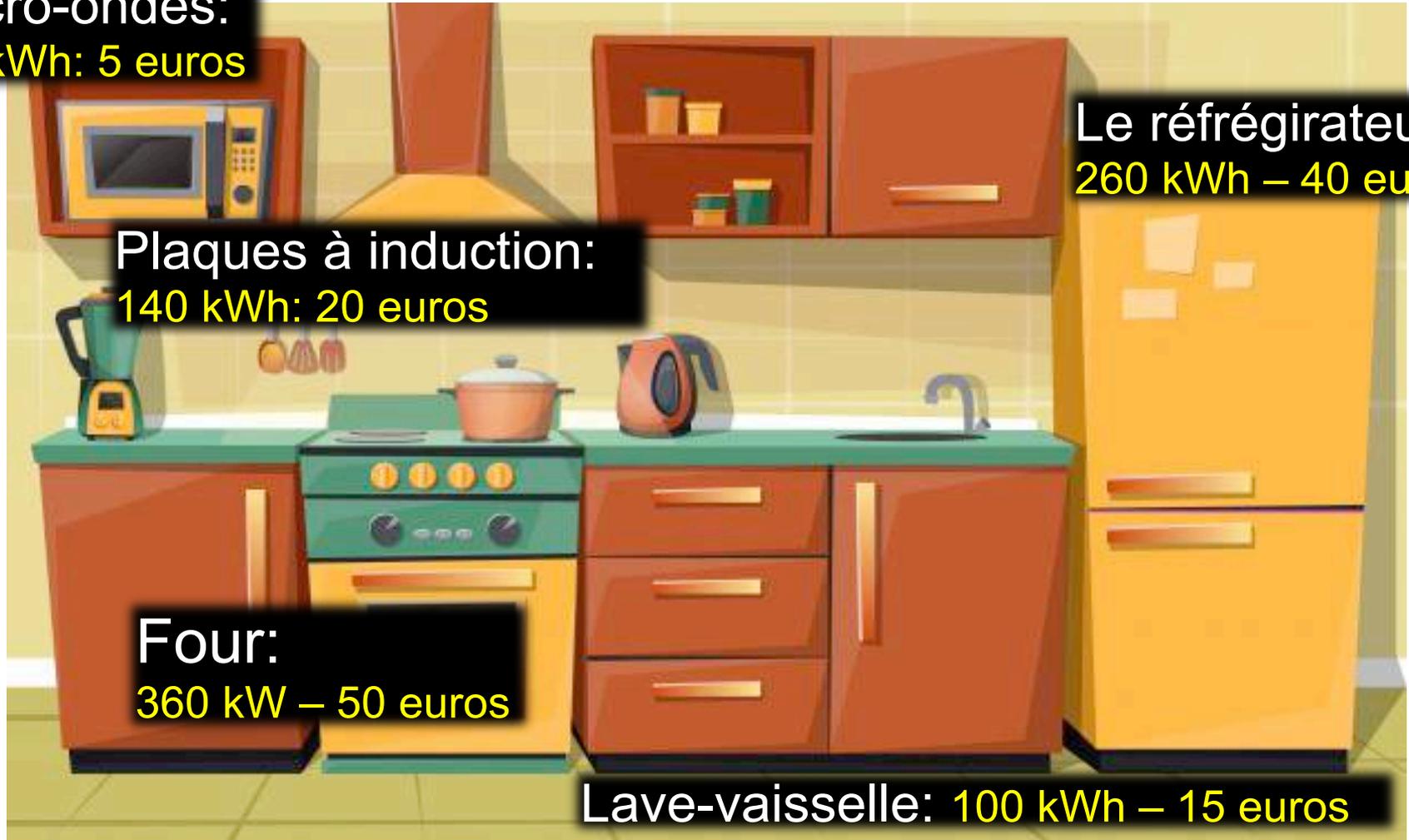
Micro-ondes:
40 kWh: 5 euros

Le réfrigérateur
260 kWh – 40 euros

Plaques à induction:
140 kWh: 20 euros

Four:
360 kWh – 50 euros

Lave-vaisselle: 100 kWh – 15 euros



Valeurs moyennes données à titre indicatif – Source: selectra.info



Consommation électrique

Consommation moyenne: 4700 kWh / pers / an

Pour un appartement 3 pièces – 70 m²

- Chauffage: 7000 kWh
- Eau chaude: 1500 kWh
- + tous les appareils électriques ...
- **Total:** 13 000 kWh/an

Votre contrat Electricité "Tarif Bleu"

Consommation sur la base d'une estimation		Index début de période	Index fin de période	Consommation (kWh)	Prix Unitaire HT (€/kWh)	Montant HT (€)	Taux de TVA	
Du 22/04/2015 au 21/06/2015 06 kVA				151	0,0999	13,73	20,8	
Base		Estimé 31308	Estimé 31430					
				Total de votre consommation d'électricité (dont acheminement 5,21 €)				13,73
Abonnement					Prix Unitaire HT (€/kWh)	Montant HT (€)	Taux de TVA	
Abonnement Tarif Bleu 06 kVA Base du 22/06/2015 au 22/06/2015					5,72	11,44	5,5	
				Total de votre abonnement (dont acheminement 8,22 €)				11,44
Taxes et Contributions				Consommation (kWh)	Prix Unitaire HT (€/kWh)	Montant HT (€)	Taux de TVA	
Taxe sur la Consommation Finale d'Electricité (TCFE)				151	0,00954	1,44	20,8	
Contribution au Service Public d'Electricité (CSPE)				151	0,01958	2,94	20,8	
Contribution Tarifaire d'Acheminement Electricité (CTA)						2,22	5,5	
				Total taxes et contributions				6,60
						Total Electricité hors TVA	31,77	
						Total hors TVA	31,77	
TVA								
TVA à 20,8 % sur un montant total de 18,11 €							3,63	
TVA à 5,5 % sur un montant total de 13,66 €							6,75	
						Total TVA	4,38	

Parmi les gros consommateurs:

- lave-linge: 1150 kWh (160 euros)
- ordinateur: 800 kWh (110 euros)

Valeurs moyennes données à titre indicatif – Source: selectra.info

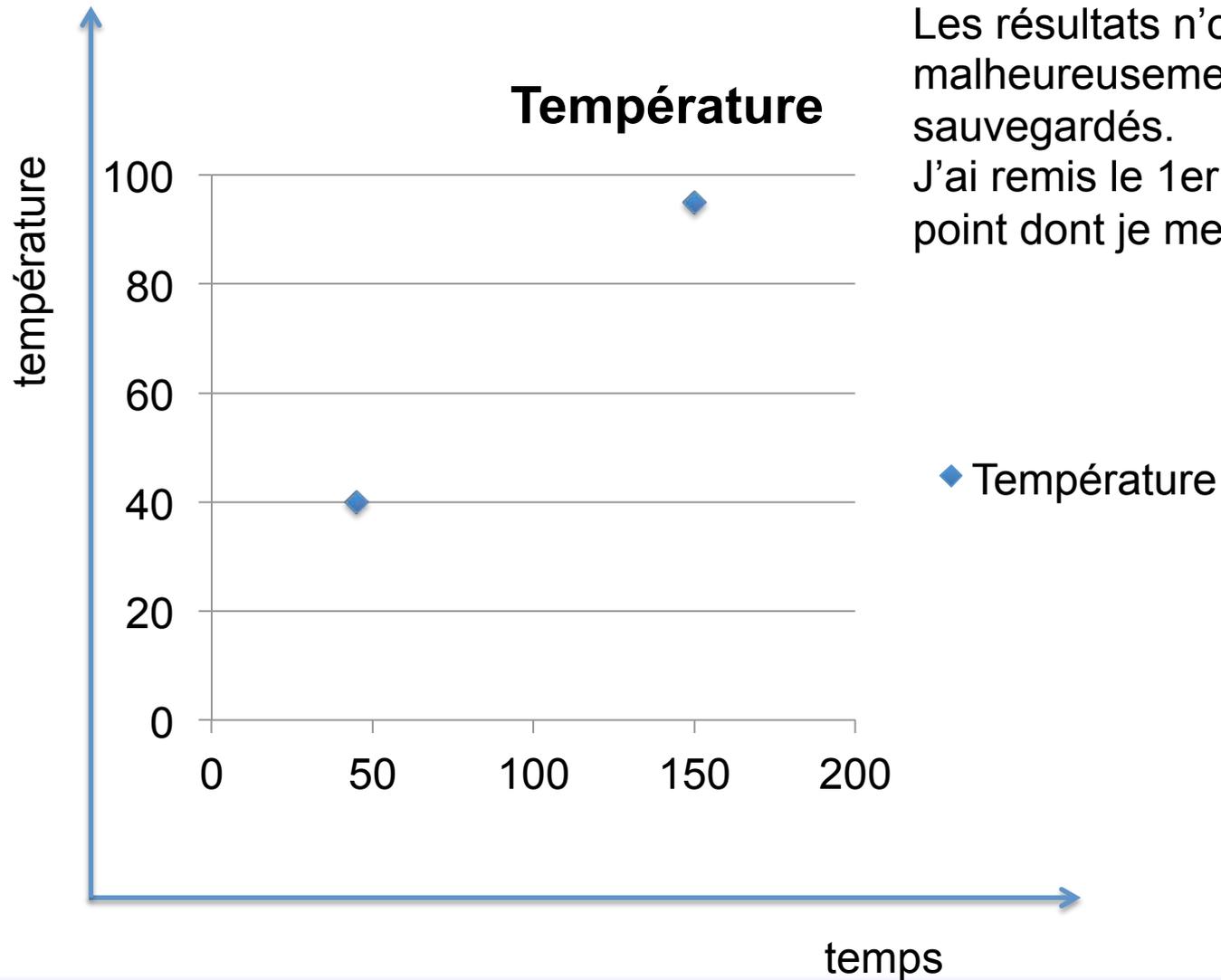


Combien de temps pour faire bouillir de l'eau ?

- On doit mesurer la température initiale
- On doit connaître la puissance de la bouilloire
- Il faut prendre un chronomètre !



Expérience



Les résultats n'ont malheureusement pas été sauvegardés.
J'ai remis le 1er et dernier point dont je me rappelle.



Expérience

Nous cherchons à définir une propriété de l'eau qui ne dépend ni de la puissance de la bouilloire ni de la quantité d'eau utilisée.



Calculons l'énergie dépensée par kg et par Kelvin que l'on notera "C"

Pour rappel:

Energie = Puissance X temps

$$C = \frac{\text{Puissance} \times \text{temps}}{\text{masse} \times \Delta T}$$

C = 4180 Joules / kg / Kelvin



Résultats de l'expérience

temps [s]	Température
45	40
150	95
Puissance (W)	1780
Masse [kg]	1
C =	3398,18182
Valeur théorique	4180
Diff. relative [%]	18,7037843

L'écart entre notre mesure et la valeur théorique *n'est que* de 20%.

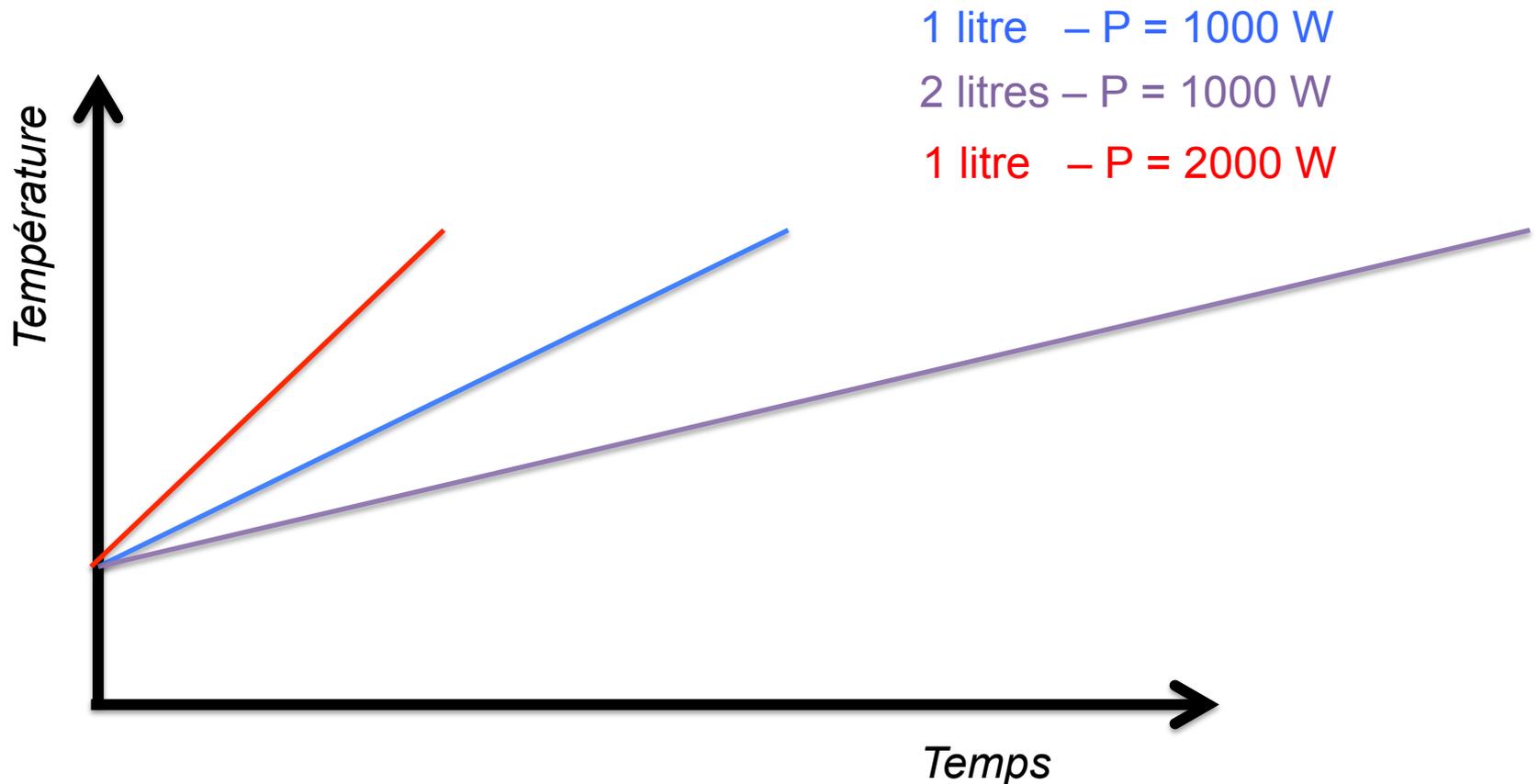
Notre mesure présente des limitations (notamment des biais):

- pertes thermiques: réchauffement de la bouilloire et de l'air
- incertitudes temps & thermomètre
- ...

Néanmoins l'ordre de grandeur est retrouvé !



Expérience



La température évolue **linéairement** avec le temps (à puissance constante). Plus le **volume** (la masse) est important, plus il faut du temps pour atteindre la même température.

Plus la **puissance** de la bouilloire est importante, moins il faut de temps pour atteindre la même température.



Quiz

De combien de degrés augmentera la température de l'air de ma cuisine (initialement $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $V = 30\text{ m}^3$) en laissant 3 litres d'eau à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ se refroidir ?



La cocotte qui chauffe ma cuisine

PISTE ROUGE

1- Cocotte minute avec 3 litres à 100 °C (373 K)

- masse = 3 kg
- $C = 4180 \text{ J/kg/K}$
- $\rightarrow M \times C \sim 12500 \text{ J/K}$

2- Cuisine de 12 m²x 2.5 m ~ 30 m³ à une température de 20°C (293 K)

- masse = 30 x 1.2 = 36 kg
- $C \sim 1000 \text{ J/kg}$
- $\rightarrow M \times C = 36 \times 1000 = 36000 \text{ J/K}$

A l'équilibre, la température se stabilise à T_f

Équation:

$$M_{\text{eau}} \times C_{\text{eau}} \times (T_f - T_{\text{eau}}) = - M_{\text{air}} \times C_{\text{air}} \times (T_f - T_{\text{air}})$$

On résout l'équation et on obtient

$$T_f = 313 \text{ K soit } 40^\circ\text{C}$$

→ Résultat bien supérieur à la "réalité"

→ On a omis le *mobilier*, les *murs* qui vont stocker une partie de cette chaleur

→ On a omis les *pertes énergétiques* (fenêtre, porte, ...)

Estimation: ~ + 0.5 °C



Stockage de la chaleur



Le stockage de la chaleur dépend:

- de la masse volumique
- de la capacité calorifique (J/kg/K)

Les murs constitue un “réservoir” de chaleur plus important que l’air ambiant.



CQFR: *puissance & capa. calo*



❑ Puissance :

- ❑ Énergie par unité de temps
- ❑ Produit d'une force par une vitesse
- ❑ Unité: Watt = Joule/s

$$P = E / t$$
$$P = F \times v$$

❑ Énergie:

- ❑ Unité: Joule
- ❑ Autre unité: kW.h = produit d'une puissance par un temps

$$E = M \times T \times C$$

❑ Capacité calorifique:

- ❑ Caractéristique propre à chaque matériau
- ❑ Exprimé en J/(kg.K)
- ❑ Exprime l'énergie nécessaire à fournir par kg pour augmenter la température d'un degré.

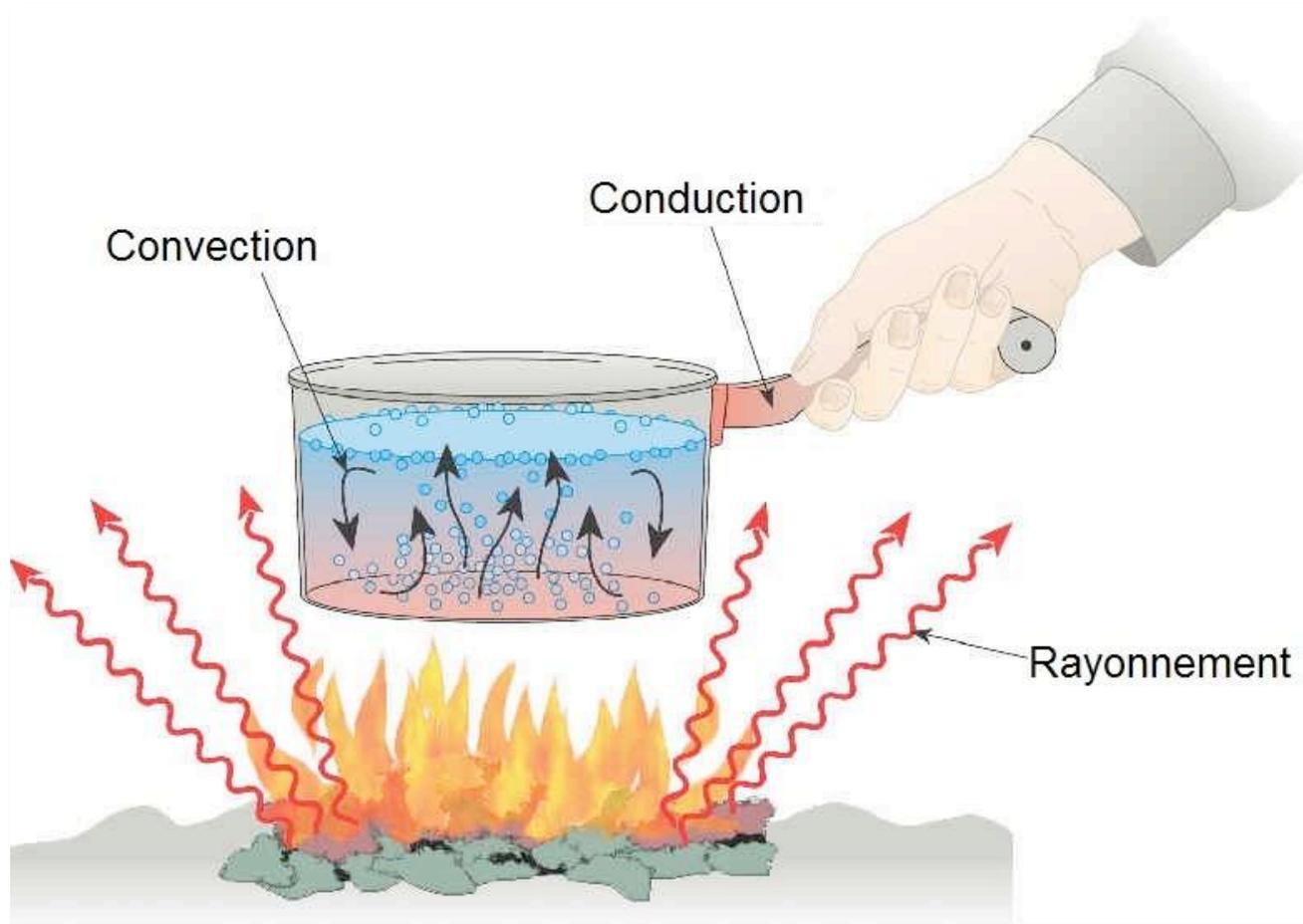


Menu du jour

- Pourquoi & comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques**
 - La conduction
 - La convection
 - Le rayonnement



Chaleur: 3 modes de transferts



Menu du jour

- Comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction**
 - La convection
 - Le rayonnement



Quiz



Qu'est-ce qui fond le plus rapidement ?

- Un glaçon dans l'eau
- Un glaçon à l'air libre
- Un glaçon sur une cuillère en métal



 **Mentimeter**



Glaçon



Matériaux	Conductivité th. [W/m/K]
Air	0.02
Eau	0.6
Fer	80
Huile	0.15

→ l'air est un bon isolant





Expérience

toucher des plaques constituées de différents matériaux tous à la même température

Expérience prêtée par [l'AMUSS](#)



Chaud - froid



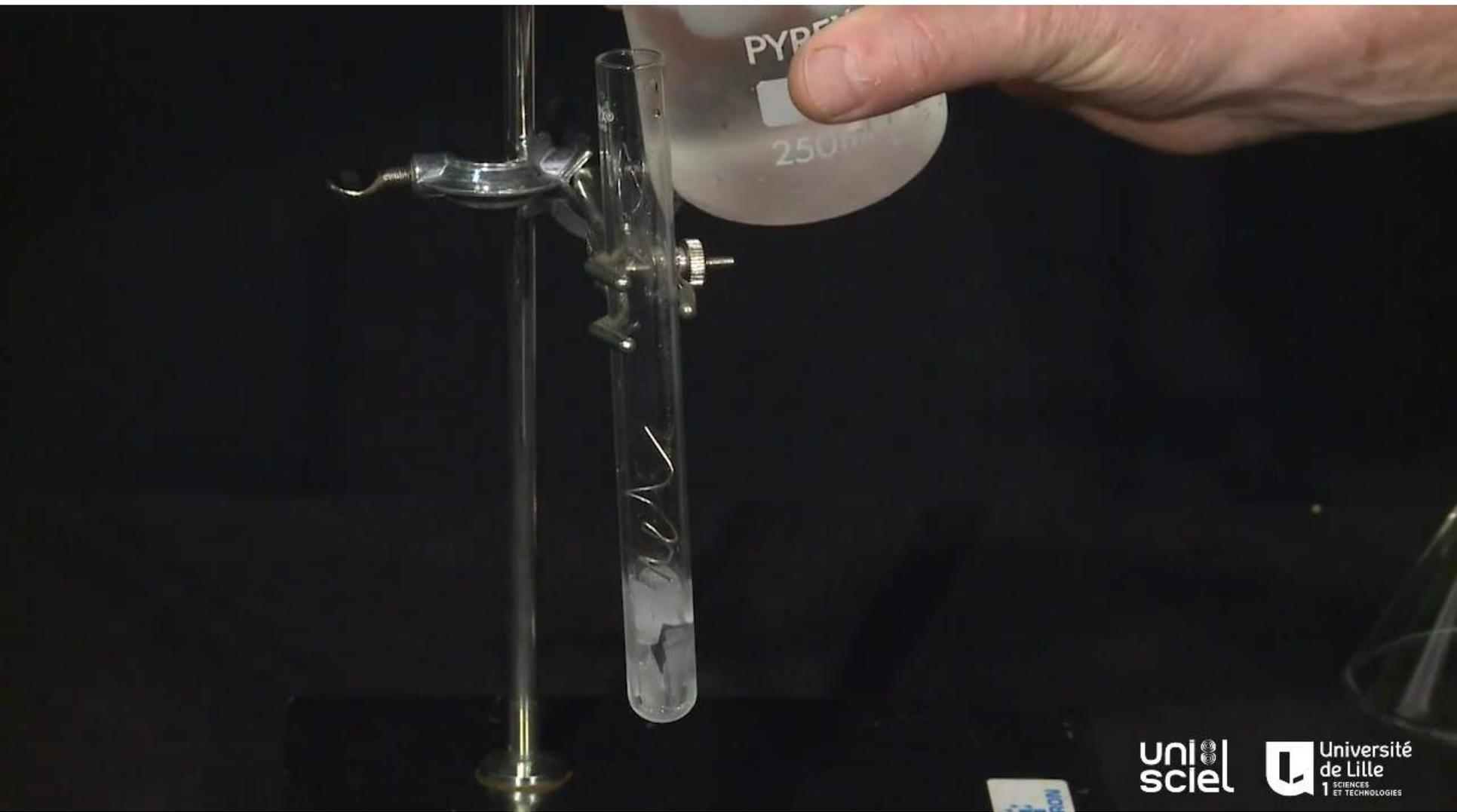
- Bien qu'ils soient à la même température, on ne perçoit pas la même "*sensation de chaleur*".
- La conductivité thermique n'est pas la même.
- Plus elle est élevée, plus notre main (plus chaude que les plaques) **perd de la chaleur au contact des plaques.**

Matériaux	Conductivité th. [W/m/K]
Aluminium	237
Marbre	2.1-2.9
Bois	0.1
Forex	0.04

→ On a plus « froid » dans de l'eau à 18°C quand dans de l'air à 18°C ...



Conduction thermique dans l'eau



uni
sciel

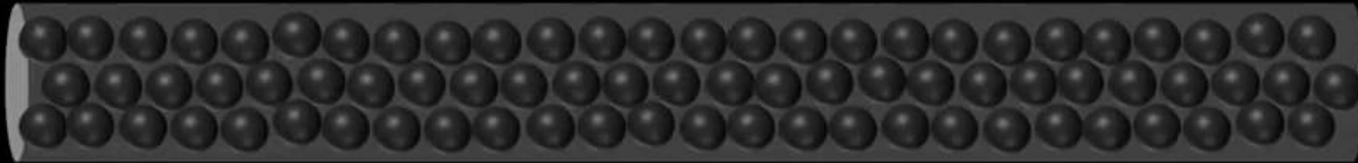
Université
de Lille
SCIENCES
ET TECHNOLOGIES

<https://www.youtube.com/watch?v=Gijq3VOWS9Y&t=13s>



Conduction thermique

Conduction



Gérard Moreau Paris

15

https://www.youtube.com/watch?v=YDheRCB_Ggw

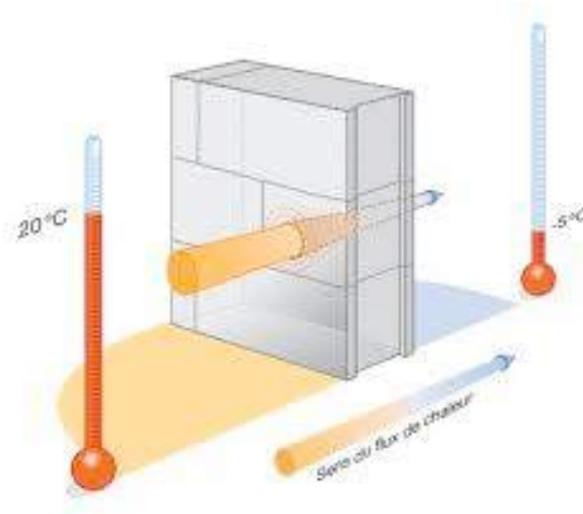
Physique pour Tous !

Diapo 80



La conduction thermique

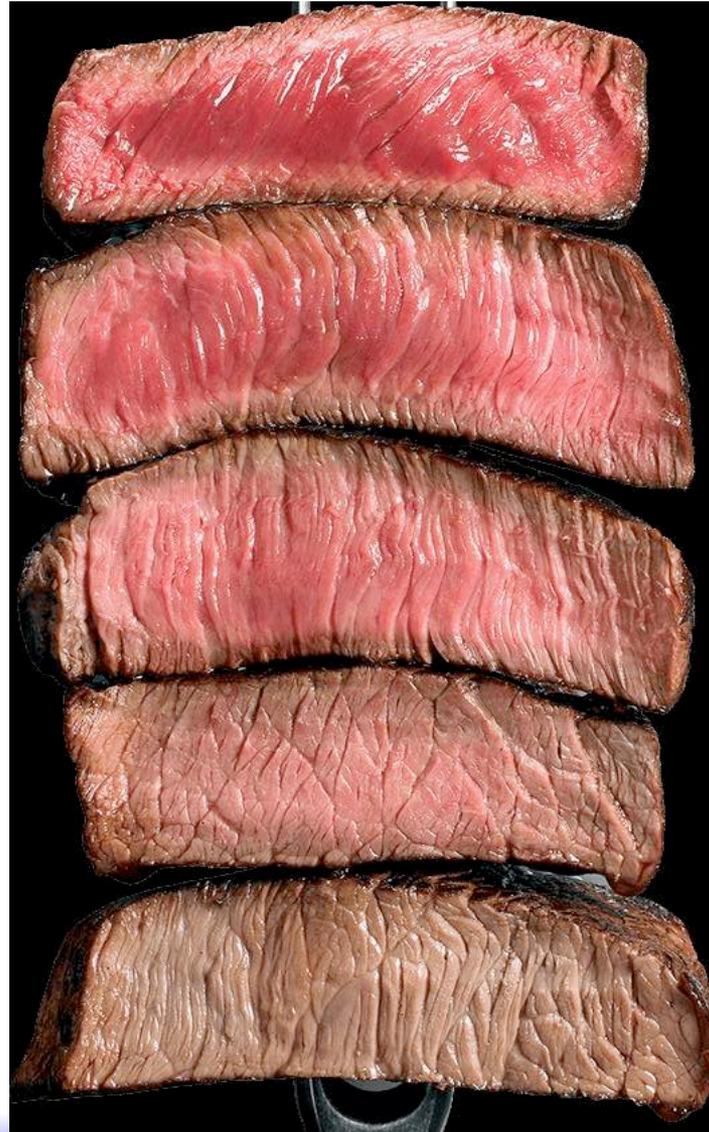
□ Variation spatiale



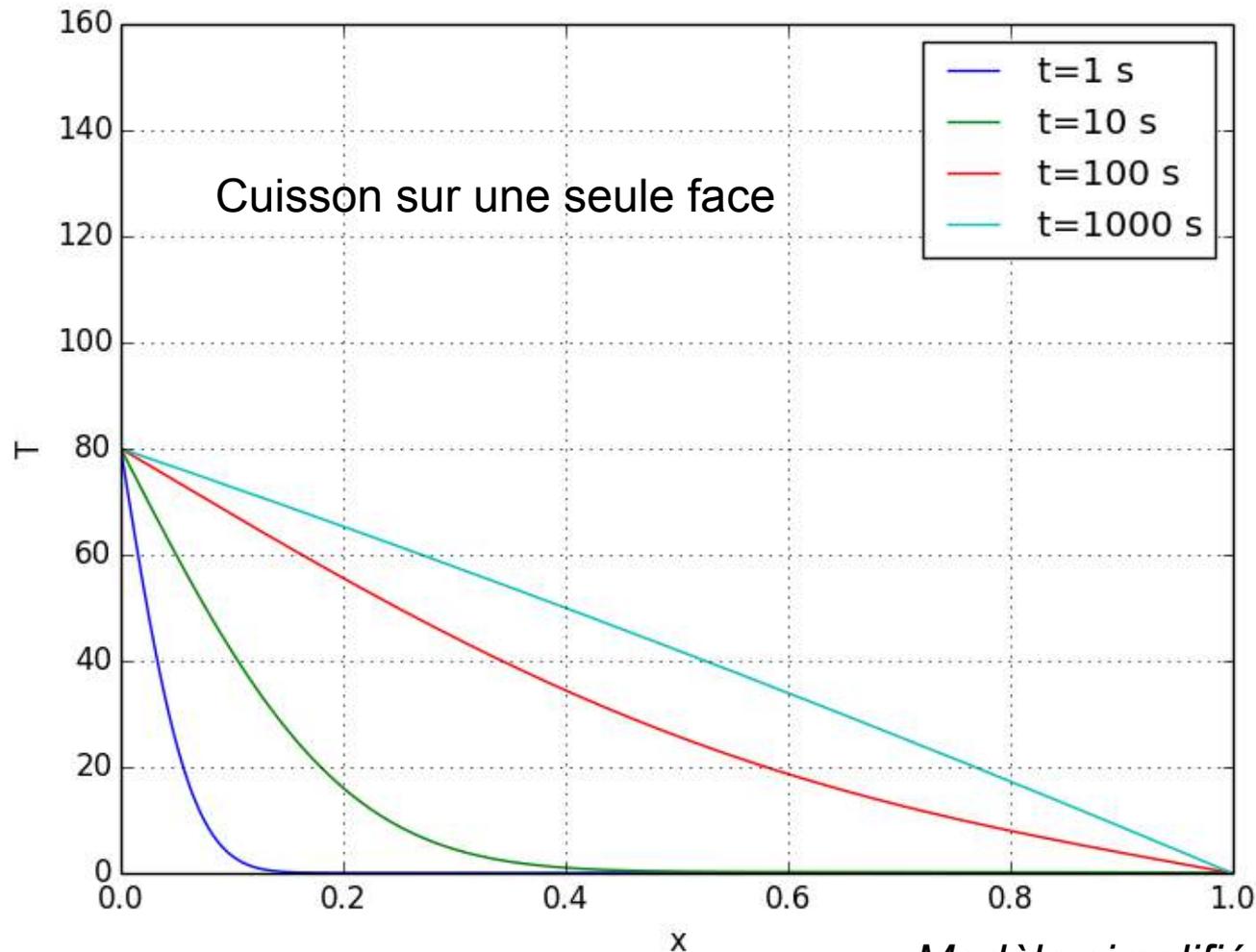
□ Variation temporelle
→ jusqu'à atteindre un équilibre



Température & temps de cuisson



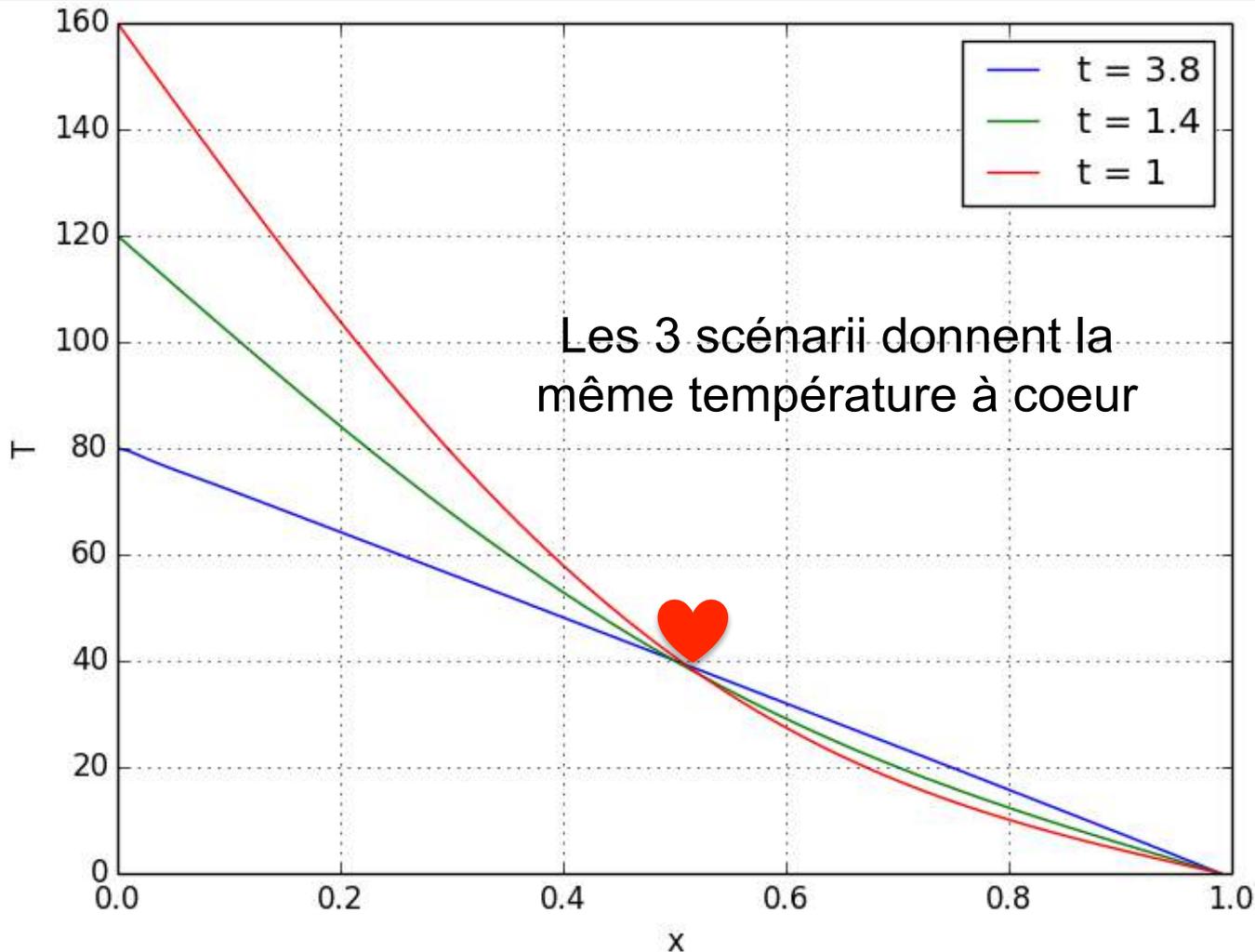
Evolution temporelle



*Modèle simplifié à une dimension
Echelle d'espace et de temps arbitraire*



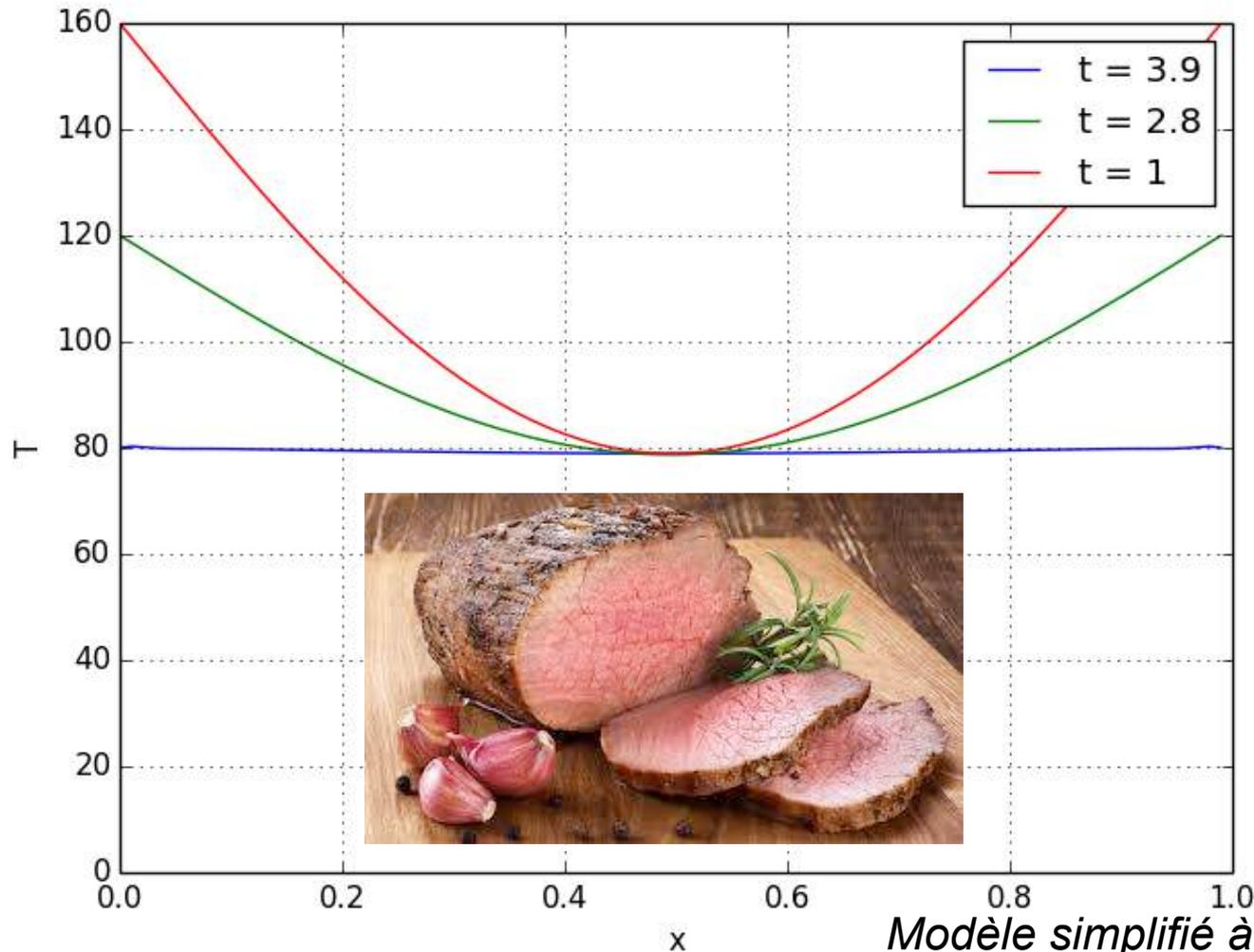
Evolution en fonction de la température



Pour une cuisson plus homogène, privilégier une température basse et un long temps de cuisson.



Cuisson des 2 cotés



*Modèle simplifié à une dimension
Echelle d'espace et de temps arbitraire*



La conduction dans la cuisine



$0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



$<1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Fer: $80 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Argent: $420 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



Teflon: $0.25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Verre: $\sim 1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Eau: $0.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Air: $0.02 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



La conduction dans la cuisine

A chaque matériau son utilité



Liège : $0.04 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
→ Bon isolant !
→ Protège la table

Faible conductivité
→ “Ralentir” les transferts de chaleur



Cuivre: $360 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
→ Très bon conducteur



La "glacière"



Mousse de polyuréthane (30 kg/m³)
0,028 W/(m.K)

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	bricks 700-1000 kg/m ³
	0,54	0,75	bricks 1000-1600 kg/m ³
	0,90	1,1	bricks 1600-2100 kg/m ³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux	45		acier
	203		aluminium
	384		cuivre

Conductivité thermique des matériaux λ
en W/m.K



Limiter les échanges

Briques:

$0.3 - 0.9 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Bois:

$0.15 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Verre:

$1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

On ne donne ici que des ordres de grandeur.
Les principales pertes thermiques ne se font pas par conduction.



Cuisson dinde



Les livres/sites de cuisine indiquent souvent **un temps par kg** (1h/kg). Cela sous-entendrait que la cuisson, ie la propagation de la chaleur soit un phénomène linéaire.
La réalité est plus complexe ...

Supposons qu'à Noël 2017 on ait réussi à cuire une dinde de 2.5 kg à thermostat 5 pendant 2.5 heures.

Combien de temps faudra-t-il pour cuire une dinde de 5 kg à Noël 2018 ?

 **Mentimeter**





La chaleur au sein des aliments se propage par conduction.

$$T = \frac{\rho^{1/3} \times C \times m^{2/3}}{K}$$

ρ : Masse volumique
1000 kg/m³

C : Capacité calorifique
3500 J/(kg.K)

K : Conductivité thermique
2 W/(m.k)

M : Masse [kg]

Noël 2017:

$$m_1 = 2.5 \text{ kg}$$

$$t_1 = 2.5 \text{ heures}$$

Noël 2018:

$$m_2 = 5 \text{ kg}$$

$$t_2 = t_1 \times (m_2/m_1)^{2/3}$$

$$= t_1 \times 1.6 = 4 \text{ heures}$$

et non 5 heures !!

Quand on double le “poids” de la dinde, il faut multiplier le temps de cuisson par 1.6 (pas 2)



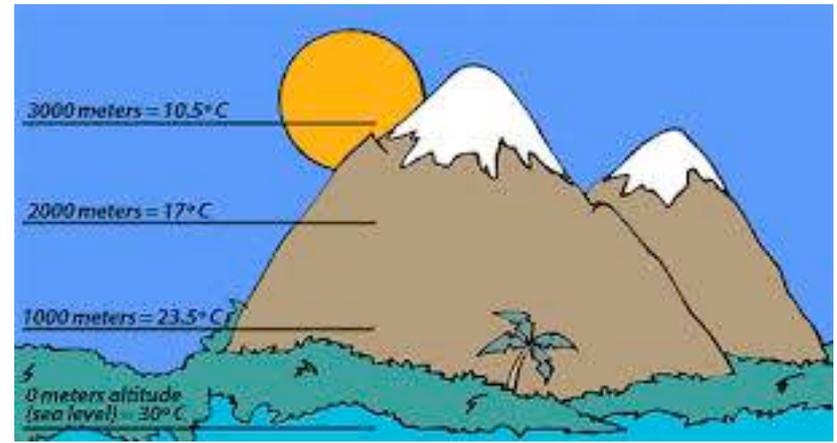
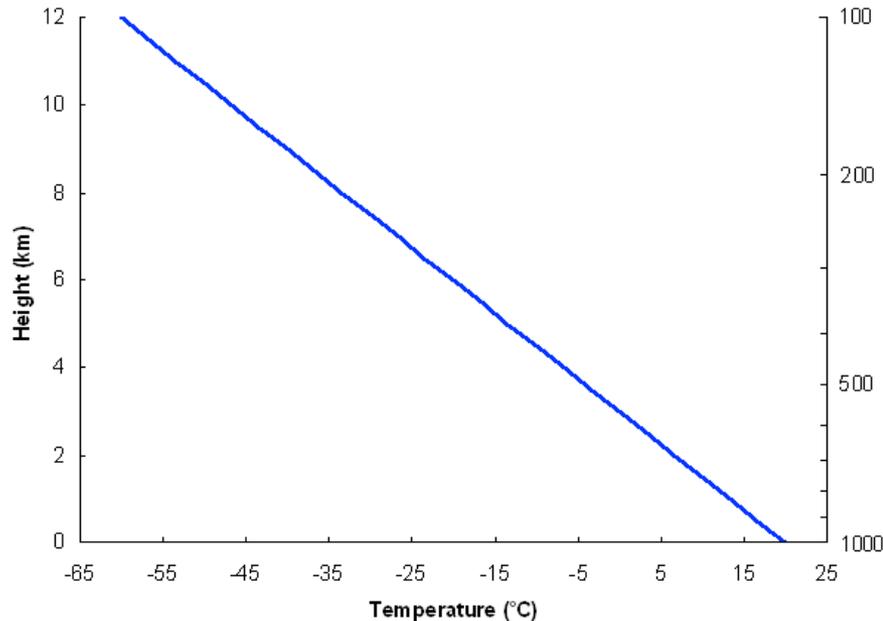
Menu du jour

- Comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction
 - La convection**
 - Le rayonnement



Température colonne d'air

Température dans la troposphère (jusqu'à 10-12 km)

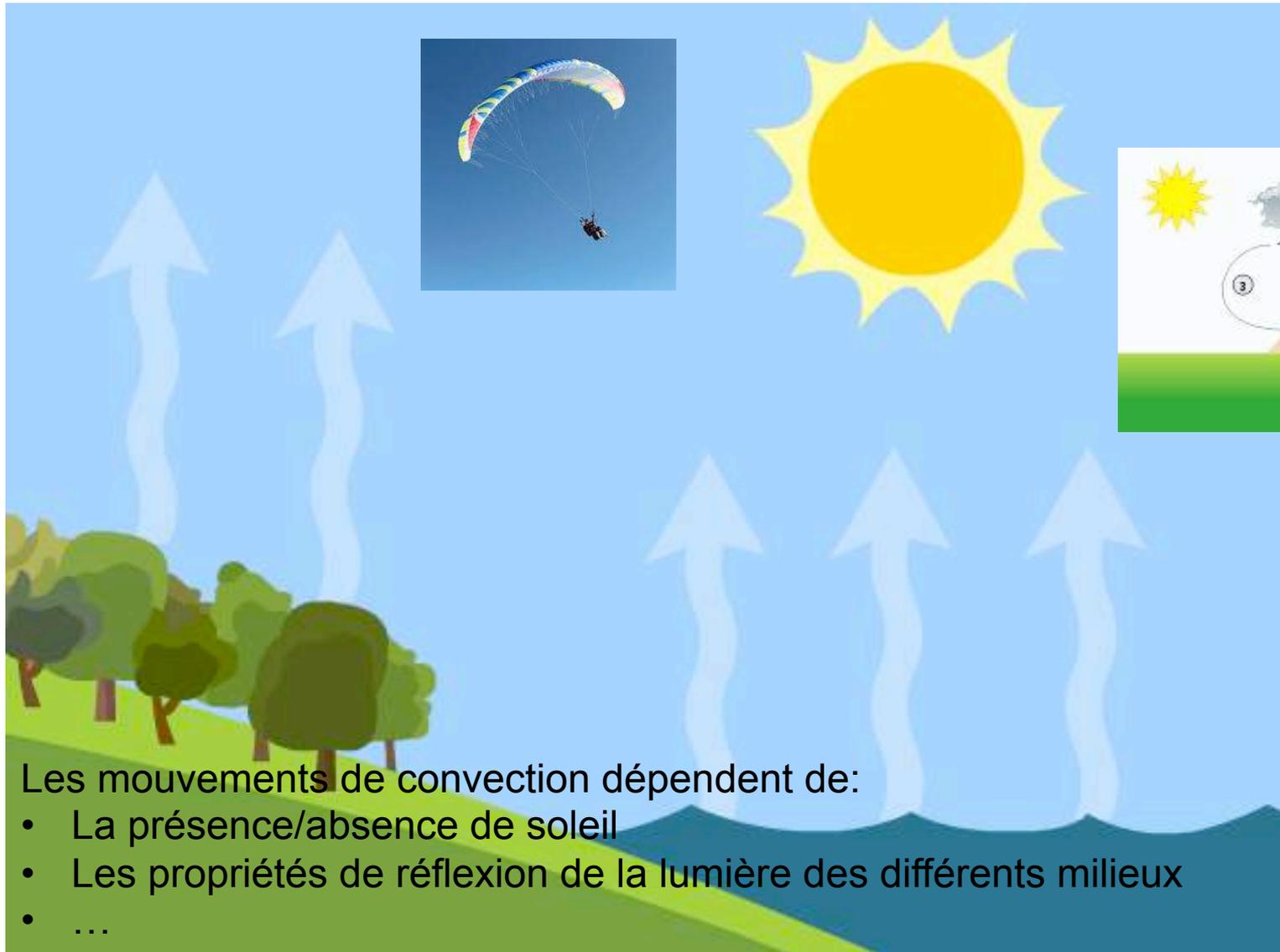


En moyenne, on perd 6.5 °C en s'élevant de 1000 mètres d'altitude.

L'atmosphère est loin d'être à l'équilibre, de nombreux déplacements de masse d'air ont lieu ...



La convection



Les mouvements de convection dépendent de:

- La présence/absence de soleil
- Les propriétés de réflexion de la lumière des différents milieux
- ...



La convection dans l'air



Four à chaleur tournante

Dans un four traditionnel, des mouvements naturels de convection se mettent en place sous l'effet des différences de température.

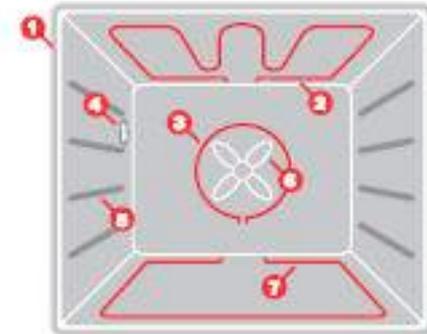
Les sources de chaleur sont des résistances placées en haut et en bas.

Chaleur “pulsée”:

Accélère le pré-chauffage du four

Description d'un four

- 1 > Moufle
- 2 > Résistance de voûte
- 3 > Résistance circulaire
- 4 > Eclairage latéral
- 5 > Gratin
- 6 > Turbine
- 7 > Résistance de sole



Chaleur tournante:

- Augmenter les mouvements de convection: *ventilateur*
- Permet de diffuser de façon plus homogène la chaleur dans le four pour une cuisson des aliments plus uniforme.
- Diminue le temps de cuisson → plus économique



Comment utiliser l'air comme isolant ?



Objectif:

emprisonner une couche d'air
(qui se réchauffe au contact de la peau par conduction)

- **Empêcher les mouvements de convection de l'air**
- L'air joue alors le rôle d'isolant



Vitre froide ou porte tempérée

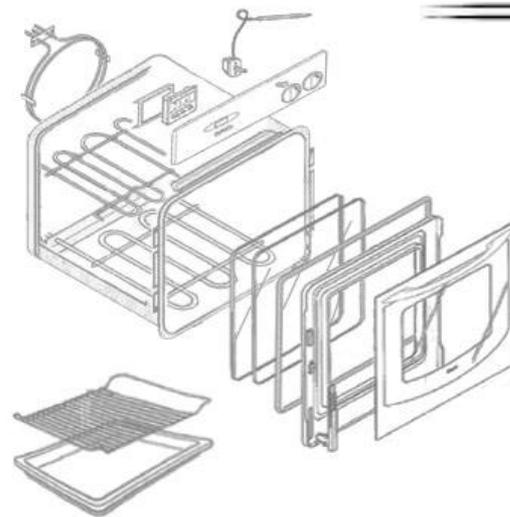
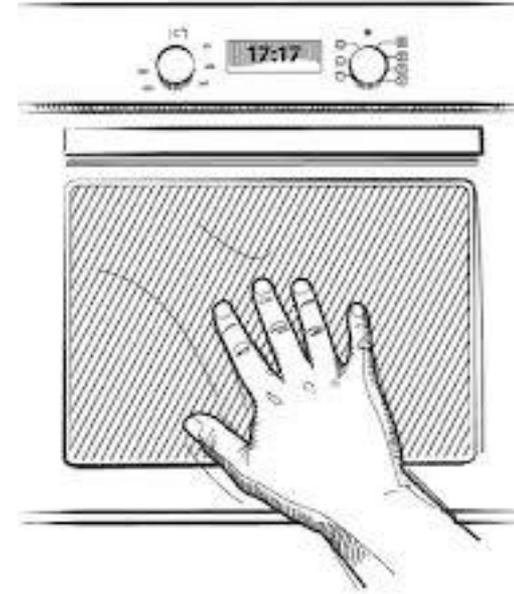
Vitre à triple vitrage → porte tempérée
à quadruple vitrage → porte froide

→ Augmente l'isolation grâce à des couches d'air

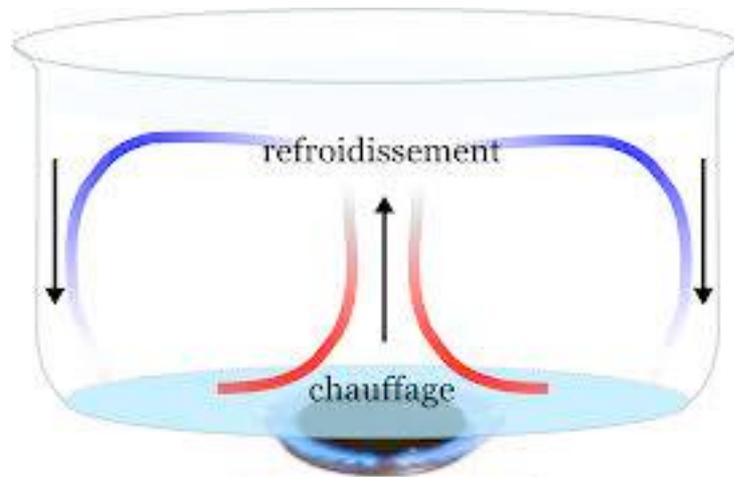
→ Plus de **sécurité** (surtout en présence d'enfants)

La température maximale n'excède pas

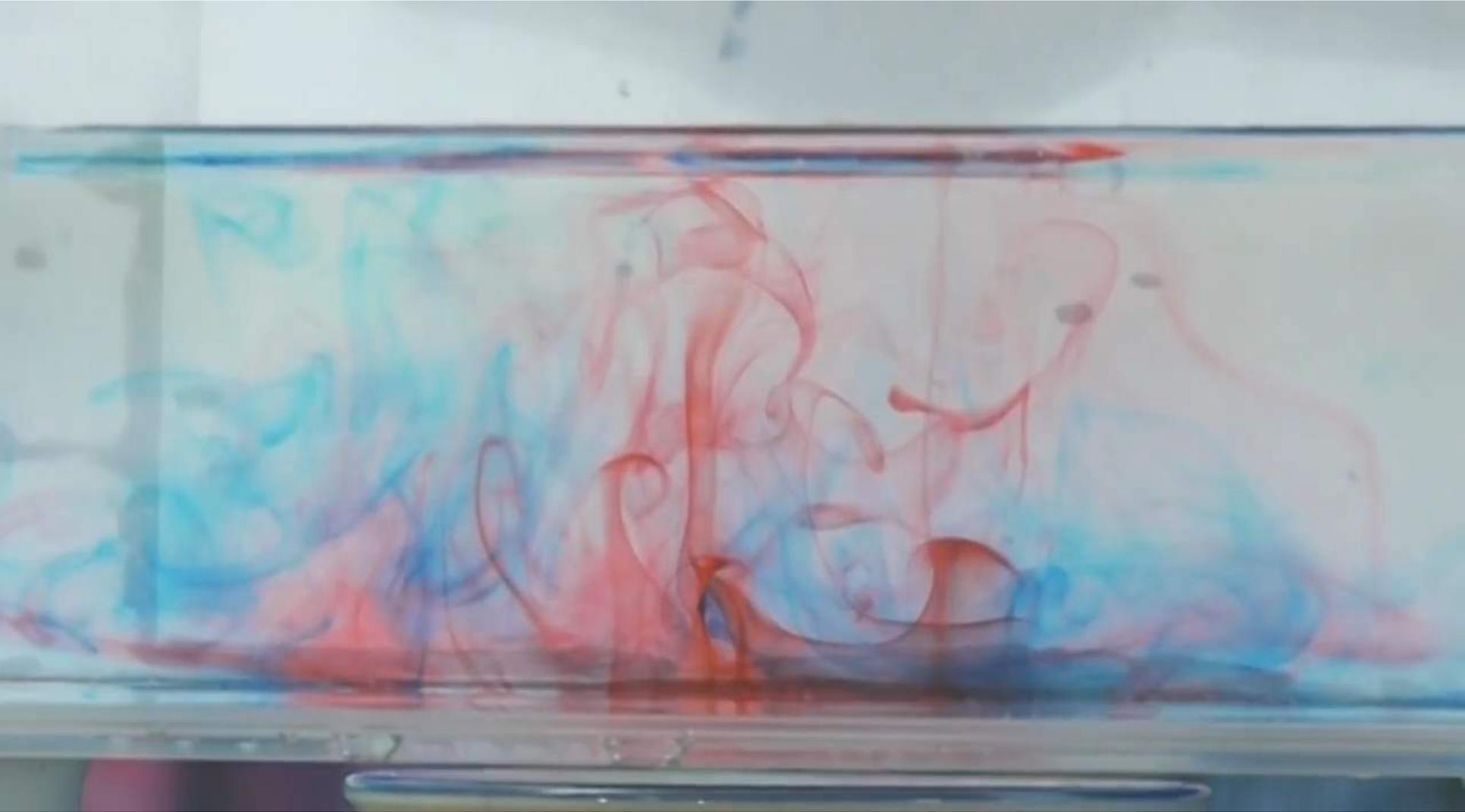
- 30-40 °C en mode cuisson
 - 60 °C en mode pyrolyse (500°C)
- sous le seuil de brûlure (65 °C)



Convection dans les liquides



Convection dans les liquides



<https://www.youtube.com/watch?v=0mUU69ParFM>



“Lampe à lave”



<https://www.youtube.com/watch?v=Q88DD943850>



Quiz



Dans quel cas la soupe refroidira-t-elle le plus vite ?



 **Mentimeter**

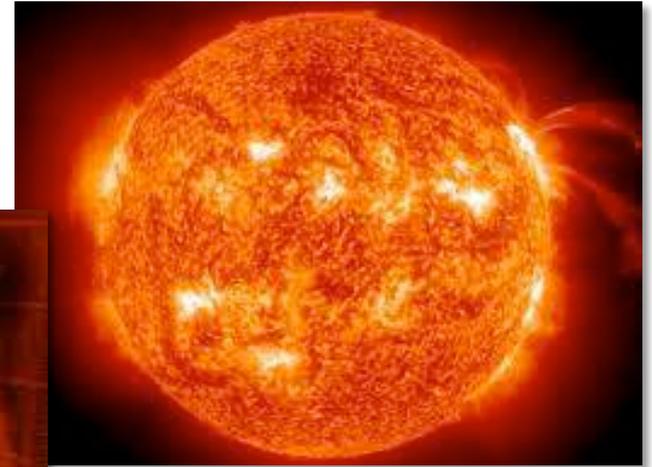


Menu du jour

- Comment chauffer ?
- Qu'est-ce qu'une calorie ?
- Comment fonctionne une bouilloire ?
- Combien de temps faut-il pour chauffer 1L d'eau ?
- Les trois modes d'échanges thermiques
 - La conduction
 - La convection
 - Le rayonnement**



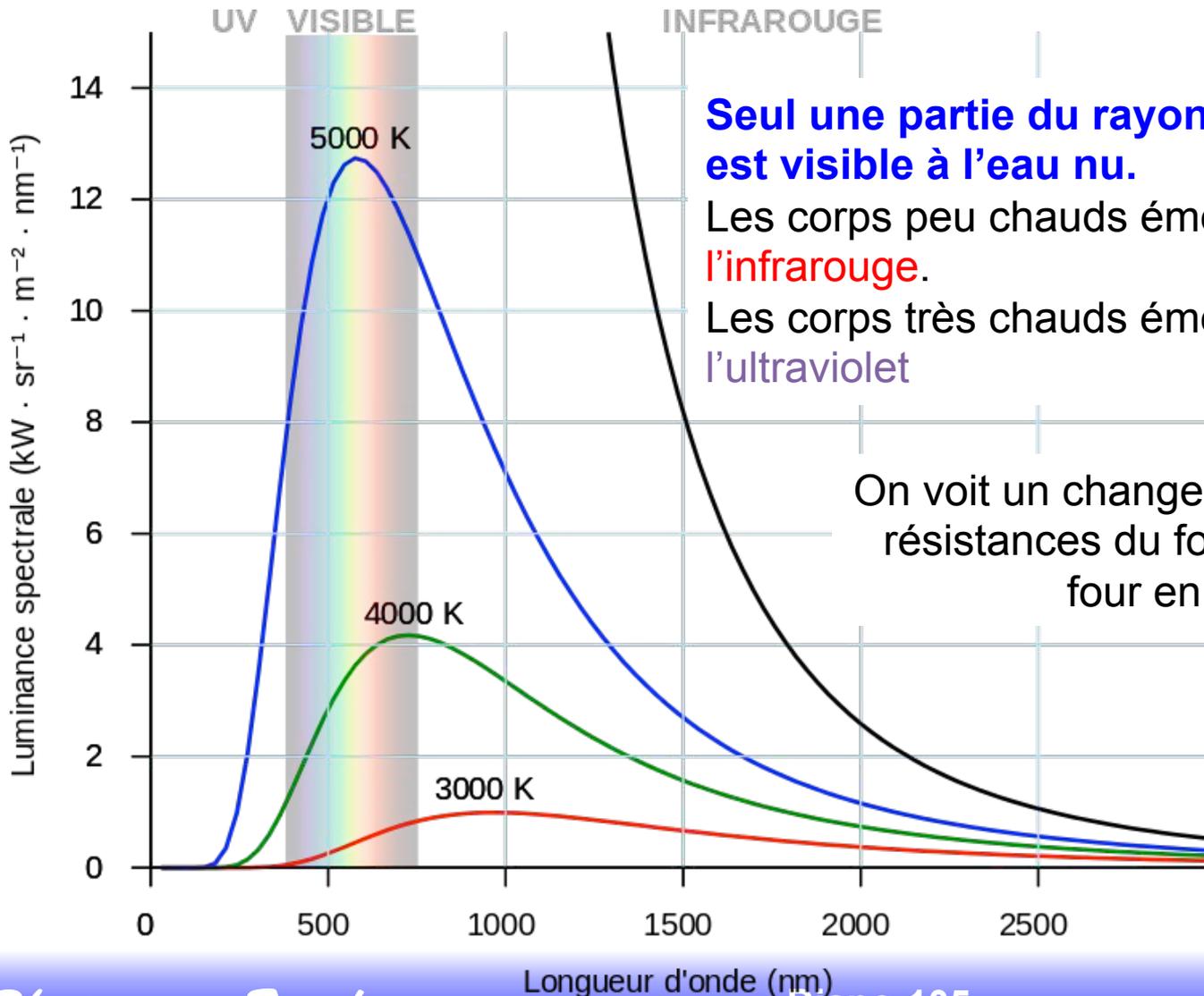
Rayonnement



Tout corps *chaud* émet un rayonnement.
La “*couleur*” dépend de la température de ce corps.



Rayonnement



Seul une partie du rayonnement produit est visible à l'eau nu.

Les corps peu chauds émettent dans l'infrarouge.

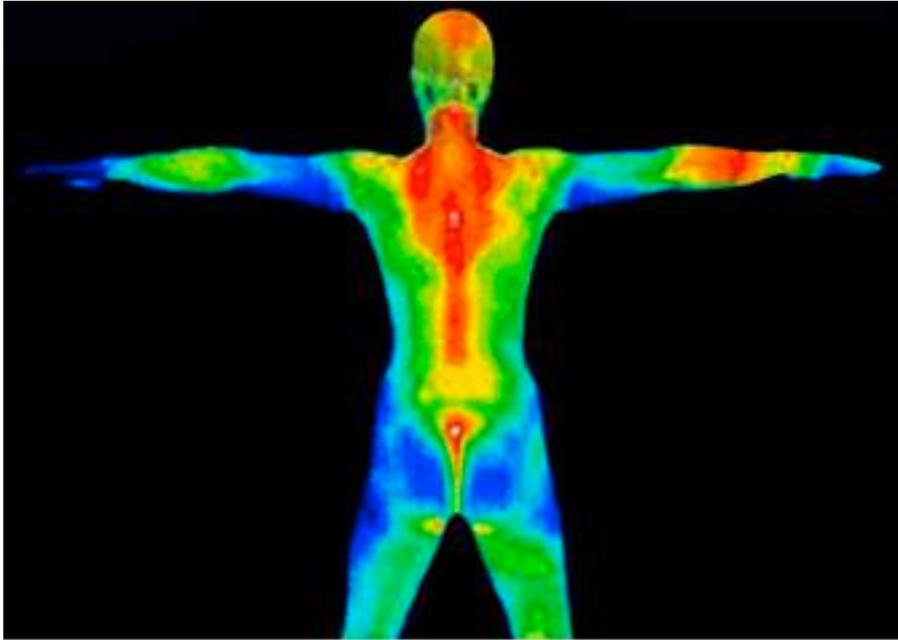
Les corps très chauds émettent dans l'ultraviolet

On voit un changement de couleur des résistances du four lorsqu'on met le four en marche !



La chaleur humaine !

Le corps humain n'échappe pas à la règle !



Toutefois avec une température interne d'environ 37°C , le rayonnement produit n'est observable que dans **l'infrarouge**.

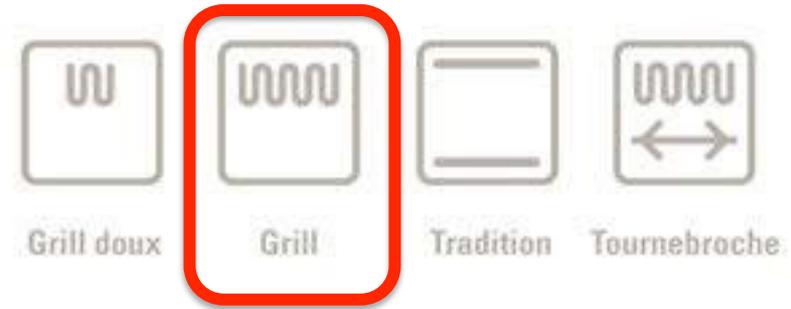
→ Il est nécessaire d'utiliser des **caméras thermiques** pour voir le rayonnement produit.

Remarque: le corps humain dégage en moyenne 100 W.

→ Lors d'un dîner en famille, il n'est pas toujours nécessaire d'allumer les radiateurs ...



Fonction “grill”



- Résistance de la voute porter à une température supérieure à 260°C
- Émission d'un rayonnement infra-rouge
 - Absorption par la surface des plats
 - Permet de gratiner ou de “griller” les plats

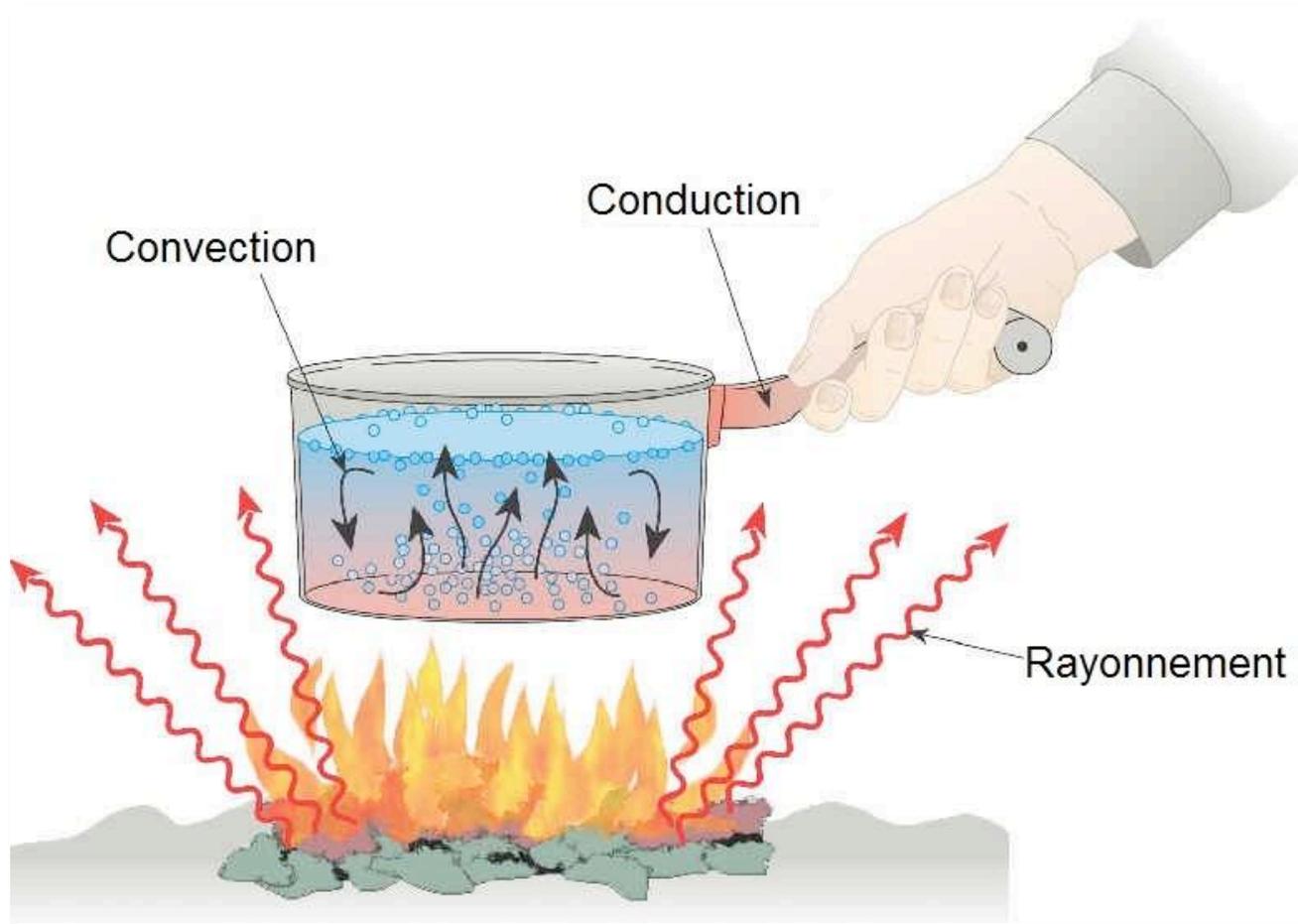
La chaleur intense produite permet des réactions chimiques, notamment la caramélisation des sucres



snacker



Chaleur: 3 en 1



Les 3 modes de transferts de chaleur sont impliqués dans la cuisson de nos aliments



Le thermos



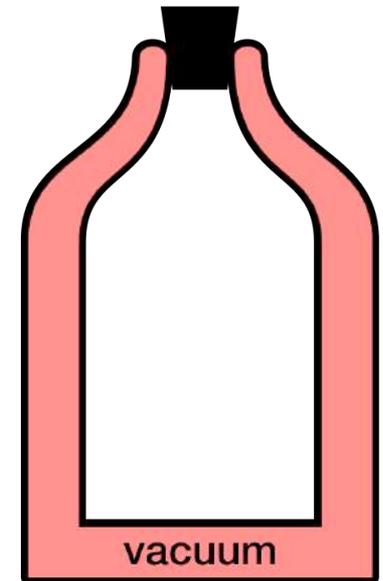
Un ingénieux système !

→ Maintient la température
(*chaud comme froid*)

Structure: constituée une double paroi métallique
séparée par du “vide”

Limiter les 3 modes de transferts de chaleur:

- La conduction est ~ nulle dans le vide
- Pas de convection sans fluide (vide = air raréfié)
- Le rayonnement reste présent mais il est amoindri par les parois réfléchissantes du métal !!



Les fuites thermiques ont lieu par le haut



CQFR: *transferts de chaleur*



❑ Conduction:

- ❑ Seul mode de transfert **au sein des aliments solides**
- ❑ Transfert relativement **lent**
- ❑ Transfert dépend de la **conductivité thermique**
 - *Cuillère en bois (isolant) - casserole en métal*
- ❑ Température à cœur différente de la température de surface

❑ Convection:

- ❑ A lieu dès lors que l'on est dans un fluide (eau, huile, soupe, air ...)
- ❑ Permet d'accélérer les échanges
 - chaleur tournante dans les fours
 - souffler pour refroidir une boisson
- ❑ Peut-être amplifier à l'aide de ventilateur
- ❑ Peut-être réduit: « sandwich de couches d'air »

❑ Rayonnement

- ❑ Tout corps chaud émet un rayonnement
- ❑ Les longueurs d'onde dépendent de la température du corps



CQFR: *puissance & capa. calo*



Puissance =

- Énergie par unité de temps
- Produit d'une force par une vitesse
- Unité: Watt = Joule/s

$$P = E / t$$
$$P = F \times v$$

Énergie:

- Unité: Joule ou ses multiples
- Autre unité: kW.h = produit d'une puissance par un temps

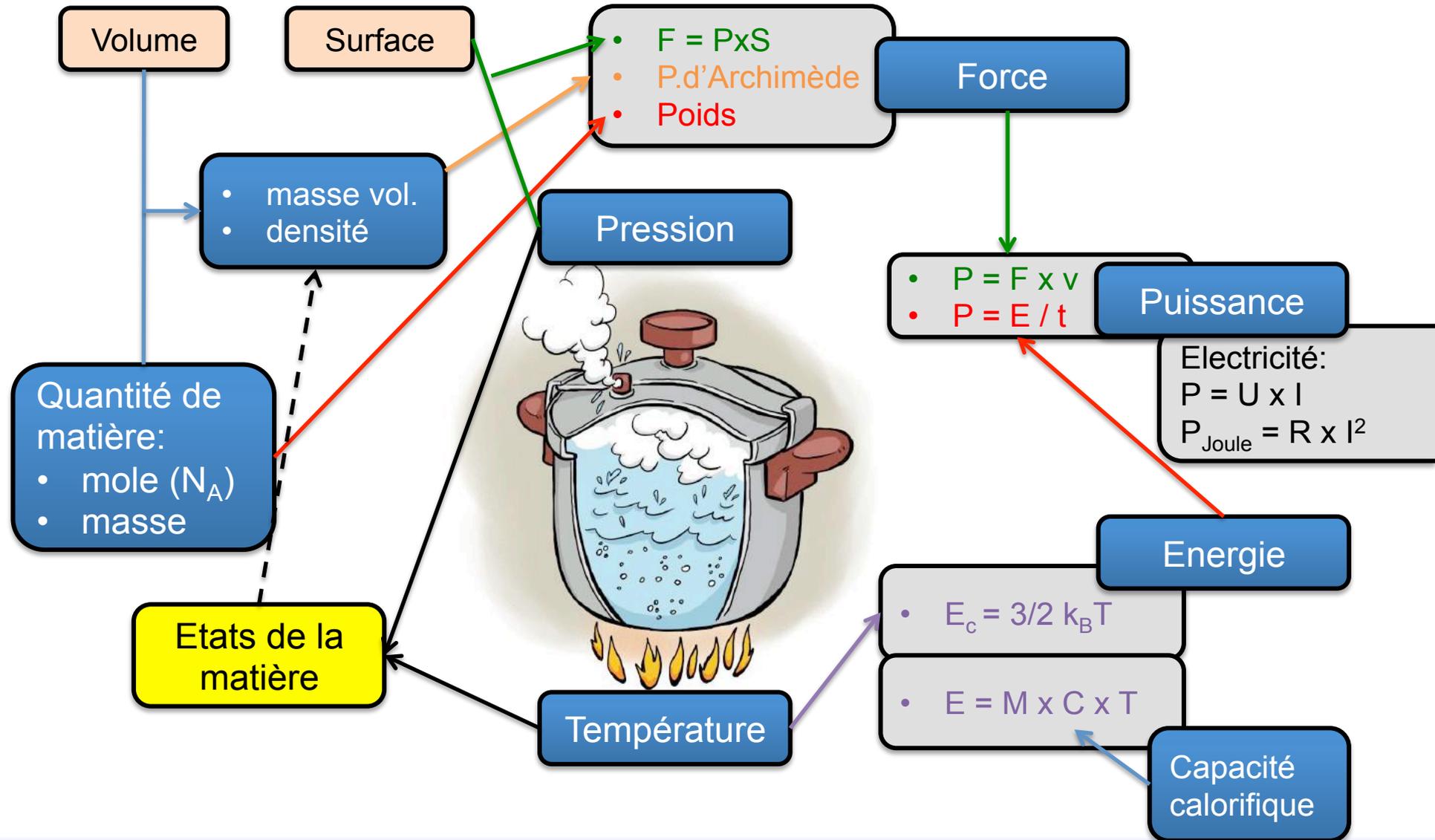
$$E = M \times T \times C$$

Capacité calorifique:

- Caractéristique propre à chaque matériau
- Exprimé en J/(kg.K)
- Exprime l'énergie nécessaire à fournir par kg pour augmenter la température d'un degré.



Les concepts physiques



La cuisine

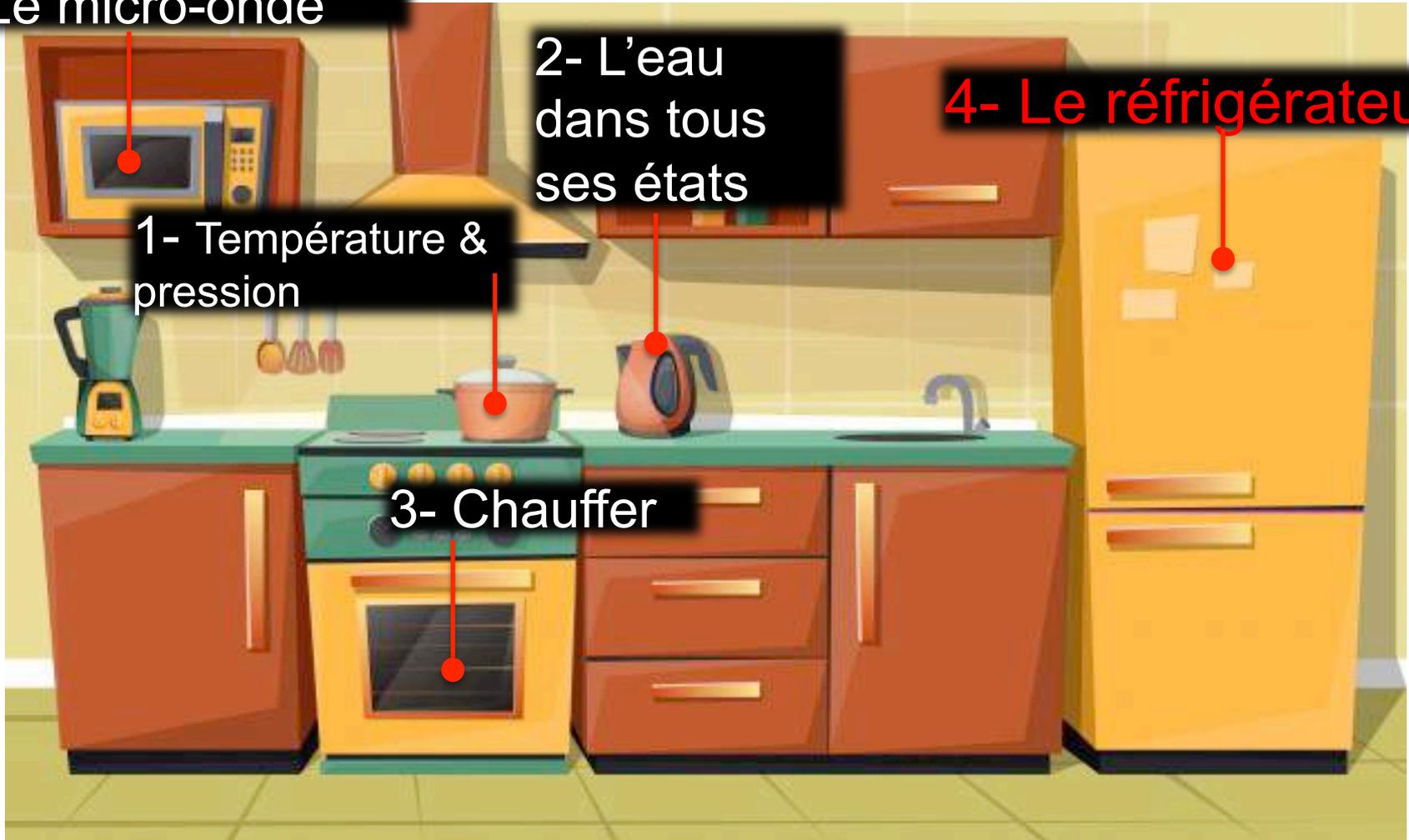
5- Le micro-onde

2- L'eau
dans tous
ses états

4- Le réfrigérateur

1- Température &
pression

3- Chauffer



Parlez-en à vos amis ...

Site web: <http://physiquepourtous.unistra.fr/>

Mail: physiquepourtous@unistra.fr

Facebook: <https://www.facebook.com/physiquepourtous67>



Merci à François Stuber, Marc-Olivier Hunzinger, Eric Baussan, Thierry Pradier et tous les autres collègues de Physique pour Tous !



Bibliographie

✓ En avant la physique ! *42 phénomènes du quotidien déchiffré*

J.M. Courty – E.Kierlik | Edition Belin

✓ La physique par les objets quotidiens

C. Ray – J.C. Poizat | Edition Belin

✓ Vous avez dit physique ? De la cuisine au salon, de la physique partout dans la maison

K. Fadel – Edition Dunod

✓ Toute la physique dans un verre d'eau

C. Santamaria – Edition Ellipes

✓ [Unisciel: physique à main levée](#)

✓ [Unisciel: Kezako](#)

✓ [France TV: C'est pas sorcier](#)

✓ [France TV: On est pas que des cobayes](#)

[Youtube.fr/ScienceClic](https://www.youtube.fr/ScienceClic)

