

## 2.4 - Energie thermique

### 2.4.1 Généralités

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

*Département de génie mécanique*

François Relotius, M.ing.

# Question



ENR2020

- Quels sont les différents modes de transfert de chaleur ?
  - La chaleur
  - La convection
  - Le travail
  - Le rayonnement
  - La conduction

# Documentation à lire

- Références utiles :
  - Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th or 7th Edition, Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, and Adrienne Lavine. Un classique depuis les années 1980.  
(Se trouve sur le web en PDF)
  - [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transfert\\_thermique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transfert_thermique)

# Vidéos explicatives

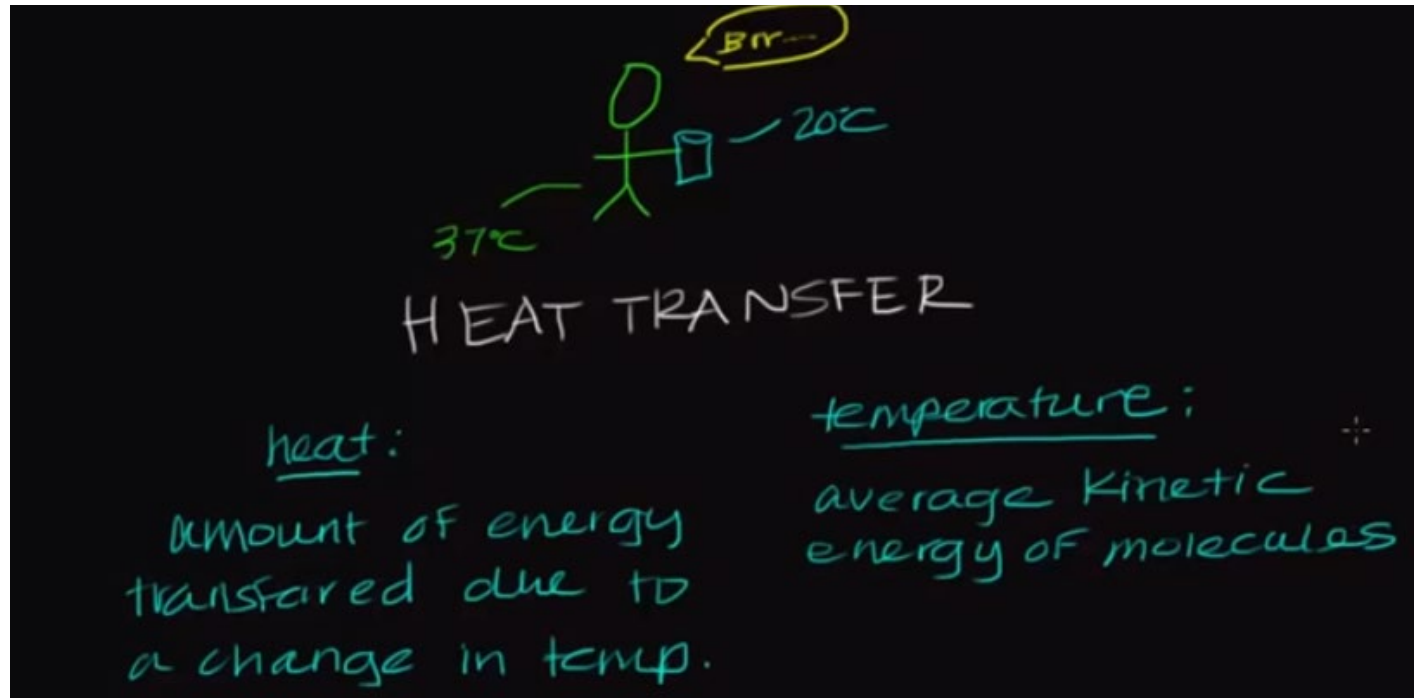
- Contenu illustratif du MIT (Khan Academy)

- Transfert de chaleur :

- <https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/biomolecules/principles-of-bioenergetics/v/heat-transfer-1>

# Question

- Quelle est la différence entre température et chaleur?



Chaleur sensible: quantité de chaleur échangée entre plusieurs corps, sans transition de phase mais modifiant la température  
Chaleur latente: quantité de chaleur échangée lors d'un changement de phase sans modification de la température

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Modes de transfert de chaleur
- Analogies
- Conclusion

# Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Définitions
- Modes de transfert de chaleur
- Analogies
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- L'étude du **transfert thermique** permet de comprendre comment l'énergie peut être transférée par les interactions d'un système avec son environnement. Ces interactions s'appellent **travail et chaleur**.
- La **thermodynamique** traite des états finaux du processus au cours duquel une interaction se produit et ne fournit aucune information concernant la nature de l'interaction ou la vitesse à laquelle elle se produit.



# Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
  - Comprendre de manière succincte ce qu'est le transfert thermique appelé aussi transfert de chaleur
  - Découvrir les modes de transfert de chaleur
  - Apprendre qu'il existe des analogies avec d'autres disciplines scientifiques

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Définitions***
- Modes de transfert de chaleur
- Analogies
- Conclusion

# Définitions

*Transfert de chaleur ↔ Thermodynamique*

- *Transferts thermiques:*
  - Prédit l'échange lors de **déséquilibres thermiques**
- *Thermodynamique :*
  - Bilan entre des **états d'équilibre**

# Définitions

*“Heat transfer is thermal energy in transit due to a spatial **temperature difference**.”*

- Référence:
  - Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th or 7<sup>th</sup> Edition  
Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, and Adrienne Lavine.
- Un transfert de chaleur se produit toujours entre un **ystème** et son **environnement** lorsqu’il existe une **différence de température** entre les deux.
- Ce transfert se fait naturellement de la source chaude vers la source froide.

# Définitions

- Cas particuliers:
  - Un transfert thermique **peut se produire** de la source froide vers la source chaude lorsqu'une **pompe à chaleur** est employée.
  - Un transfert de chaleur **peut se produire** par rayonnement entre deux corps à la **même** température. A ce moment le flux qui quitte A vers B est égal au flux quitte B vers A et le flux **net** est nul car le système est alors en équilibre. Mais strictement, il y a de l'énergie qui quitte les deux corps.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- ***Modes de transfert de chaleur***
- Analogies
- Conclusion

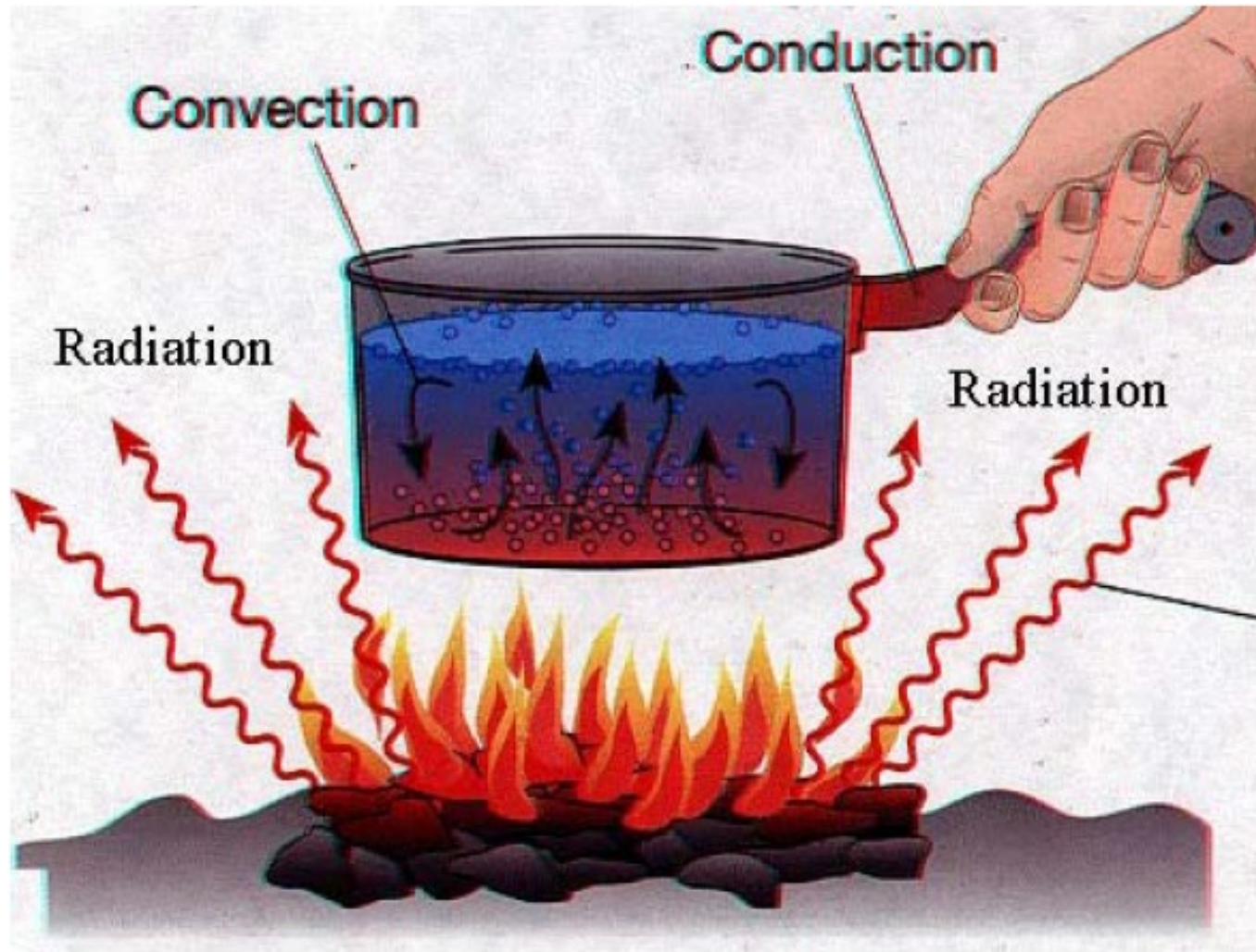
# Question



ENR2020

- Quelle est l'unité par convention d'un flux de chaleur ?
  - Le Watt par mètre carré
  - Le Joule
  - Le Watt
  - Le Joule par mètre carré
  - Aucune de ces réponses

# Modes de transfert de chaleur



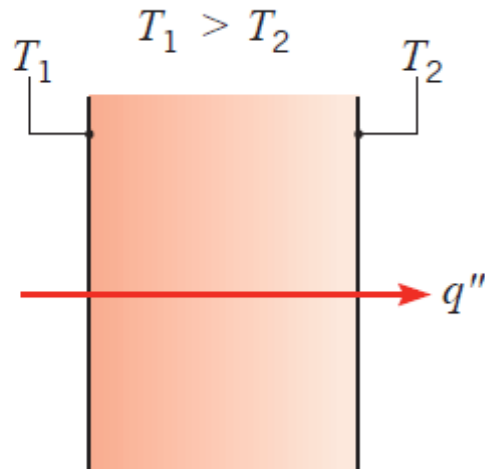
- Source :  
Louis Lamarche  
MEC532, cours 1



# Modes de transfert de chaleur

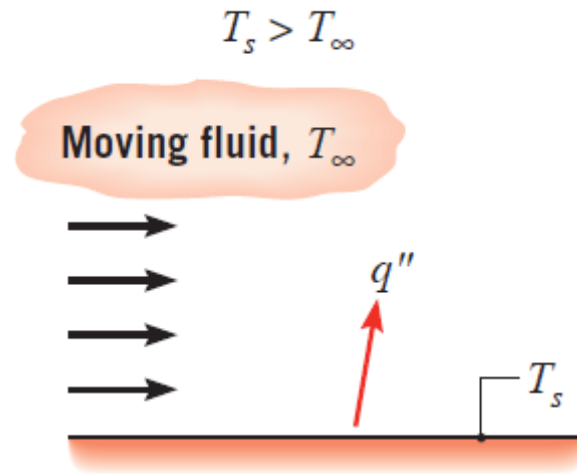
## Conduction

Conduction through a solid or a stationary fluid



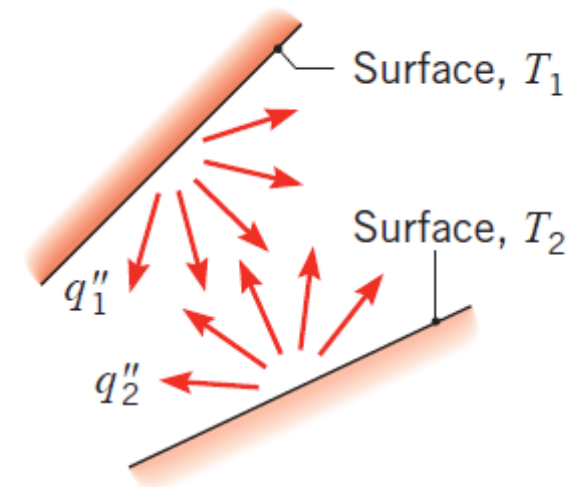
## Convection

Convection from a surface to a moving fluid



## Radiation

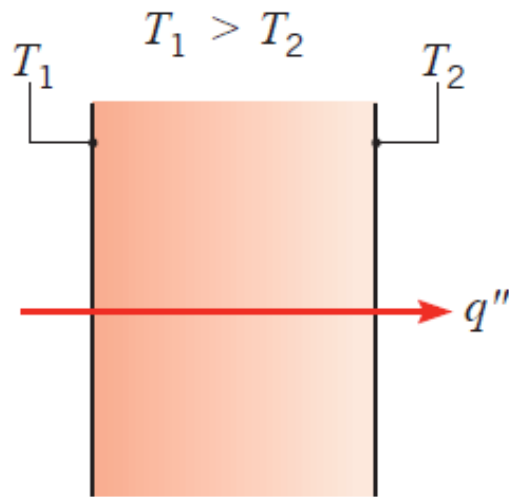
Net radiation heat exchange between two surfaces



# Modes de transfert de chaleur

## Conduction

Conduction through a solid or a stationary fluid



- Comme on le voit dans la présentation sur la conduction, le fait que la chaleur, par convention, s'écoule du côté chaud vers le côté froid, induit un signe négatif dans l'expression du *flux de chaleur* [W/m<sup>2</sup>] :

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$

- Notez que l'emploi de '' dans l'expression de  $q''$ , désigne par unité de surface [m<sup>2</sup>]. Le *taux de transfert* [W] est alors :

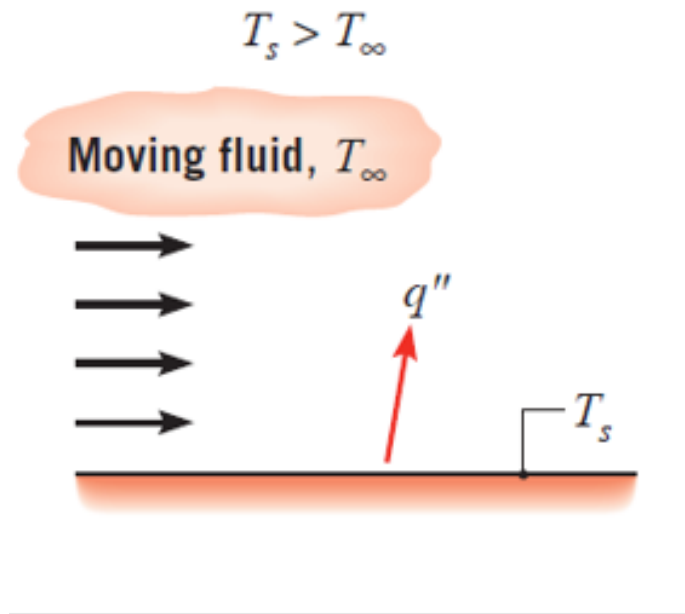
$$q = A \times q'' = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

- Similairement, une conversion d'énergie par unité de volume [m<sup>3</sup>] donnerait  $q'''$ .

# Modes de transfert de chaleur

## Convection

Convection from a surface  
to a moving fluid



- Comme on le voit dans la présentation sur la convection, si vous schématisez la convection telle que dans la figure ci-contre, l'expression du *flux de chaleur* [W/m<sup>2</sup>] est :

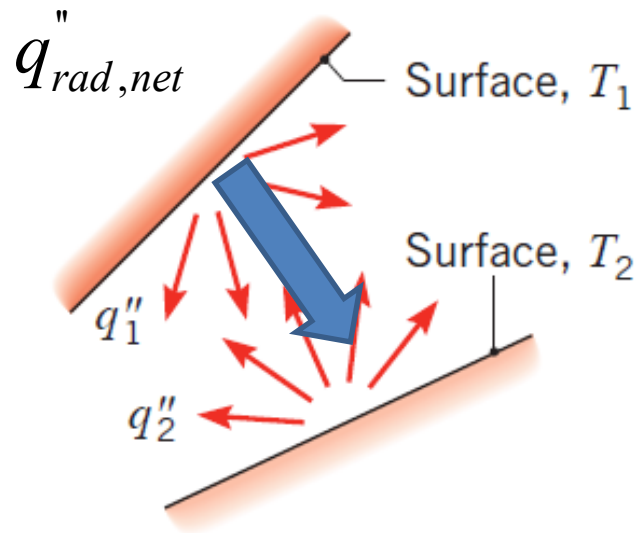
$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

- Parce que le flux **sort** de la surface.
- S'il advient que la température du fluide soit plus élevée que celle de la surface, le flux sera négatif ce qui, par rapport à la direction de la flèche, est correct.
- Écrivez toujours que le taux de transfert d'énergie qui **sort** de la surface par convection,  $\dot{E}_{out}$ , s'exprime comme ci-haut et dessinez la flèche en ce sens.

# Modes de transfert de chaleur

## Radiation

Net radiation heat exchange  
between two surfaces



- Comme on le voit dans la présentation sur le rayonnement, si vous le schématisez tel que dans la figure ci-contre, l'expression du *flux de chaleur* [W/m<sup>2</sup>] peut être :

$$q''_{rad,net} = q''_{rad,1} - q''_{rad,2}$$

- Lorsque la température de la surface 1 est > que celle de 2.
- Le flux net serait alors représenté par une flèche allant de la surface 1 vers la surface 2 (flèche bleue ci-contre).
- L'essentiel est d'avoir une notation consistante avec le schéma.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Modes de transfert de chaleur
- ***Analogies***
- Conclusion

# Analogies

## *Transfert de chaleur VS autres disciplines*

<b>Transfert de chaleur</b>	<b>Mécanique des fluides</b>	<b>Électricité</b>
$\Delta T$ (K)	$\Delta p$ (Pa)	$\Delta V$ (Volts)
$q$ (W)	$q$ (m <sup>3</sup> /s)	$I$ (Amp)
$\vec{q}''$ (W/m <sup>2</sup> )	$\vec{v}$ (m/s)	$\vec{j}$ (A/m <sup>2</sup> )
$R_{thermique}$ (K/W)	$R_{hydraulique}$	$R_{électrique}$ ( $\Omega$ )

- Source :

Louis Lamarche, MEC532, cours 1

# Quelques questions

- A la fin de cette capsule, vous devriez avoir commencé à acquérir une appréciation de la terminologie et des concepts physiques qui sous-tendent le sujet du transfert thermique.
- Testez votre compréhension en tentant de répondre aux questions qui sont formulées en fin de présentation.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Exemple
- Analogies
- ***Conclusion***



# Conclusion

- Lorsqu'il existe un différentiel de température dans un environnement, **automatiquement**, un transfert d'énergie se produit sous forme thermique dans le but de rétablir un équilibre.
- Selon l'environnement étudié, le mode de transfert de chaleur diffère. Il en existe trois :
  - La conduction,
  - La convection,
  - La radiation ou rayonnement.

# Conclusion

- Les trois prochaines présentations de ce thème concernent spécifiquement ces trois modes de transfert.
- Enfin, plusieurs exercices de thermique existent :
  - Dans le livre de référence
  - Sur le site Moodle
  - Dans les démonstrations faisant intervenir le logiciel Interactive Heat Transfer V4.0



**Merci de votre attention !**

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

# Période de questions



# Liste de questions à réflexion

- Quels sont les mécanismes physiques associés au transfert de chaleur par conduction, convection et rayonnement?
- Quel est le potentiel moteur du transfert de chaleur?
- Quels sont les analogues de ce potentiel et de se transfert de la chaleur pour le transport de la charge électrique?
- Quelle est la différence entre un flux de chaleur et un taux de transfert de chaleur? Quelles sont leurs unités?
- Qu'est-ce qu'un gradient de température? Quelles sont ses unités?
- Quelle est la relation de flux de chaleur à un gradient de température?
- Qu'est-ce que la conductivité thermique? Quelles sont ses unités? Quel rôle joue-t-elle dans le transfert de chaleur?
- Quelle est la loi de Fourier? Pouvez-vous écrire l'équation de mémoire?
- Quelle est la différence entre la convection naturelle et la convection forcée?
- Quelles conditions sont nécessaires pour le développement d'une couche limite hydrodynamique? Une couche limite thermique?

# Liste de questions à réflexion

- Si le transfert de chaleur par convection pour l'écoulement d'un liquide ou d'une vapeur n'est pas caractérisé par un changement de phase liquide / vapeur, quelle est la nature de l'énergie transférée? Qu'en est-il s'il y a un tel changement de phase?
- Quelle est la loi du refroidissement de Newton? Pouvez-vous écrire l'équation de mémoire?
- Quel rôle joue le coefficient de transfert de chaleur par convection dans la loi de refroidissement de Newton? Quelles sont ses unités?
- Quel effet le transfert de chaleur par convection depuis ou vers une surface a-t-il sur le solide délimité par la surface?
- Qu'est-ce qui est prédit par la loi de Stefan-Boltzmann et quelle unité de température doit être utilisé avec la loi? Pouvez-vous écrire l'équation de mémoire?
- Quelle est l'émissivité et quel rôle joue-t-elle dans la caractérisation des rayonnements à une surface?
- Qu'est-ce que l'irradiation et quelles sont ses unités?
- Quels sont les deux résultats caractérisant la réponse d'une surface opaque à une radiation incident?

# Liste de questions à réflexion

- Quelle propriété affecte l'énergie thermique du milieu frappé par un rayonnement?
- Quelles sont les conditions associées à l'utilisation du coefficient de transfert de chaleur par rayonnement?
- Pouvez-vous écrire l'équation utilisée pour exprimer l'échange de rayonnement net entre une petite surface isotherme et grande enceinte isotherme?
- Considérez la surface d'un solide qui est à une température élevée et exposée à un environnement plus frais. Par quel (s) mode (s) la chaleur est-elle transférée de la surface si : (1) il est en contact intime (parfait) avec un autre solide, (2) il est exposé à un écoulement d'un liquide, (3) il est exposé à l'écoulement d'un gaz, et (4) il se trouve dans une enceinte vide?
- Quelle est la différence inhérente entre l'application de la conservation de l'énergie sur un intervalle de temps et à un instant de temps?
- Qu'est-ce que le stockage d'énergie thermique? En quoi diffère-t-elle de la production d'énergie thermique?
- Quel rôle jouent les termes dans un bilan énergétique de surface?

**Cette présentation ne permet pas de répondre explicitement à toutes ces questions. Ces réponses viendront avec les autres thèmes abordés et en réalisant des exercices.**