

Les principaux modes de transferts d'énergie

par Guillaume Legros

Maître de Conférences à l'Université Paris VI

Université Pierre et Marie Curie – Paris6
Institut Jean le Rond d'Alembert (CNRS UMR 7190)
email: guillaume.legros@upmc.fr
tél: 01 30 85 48 84





	INTRODUCTION
Introduction	<u>Modélisation et limitations</u>
E.T.L.	
3 modes	
Objectifs	
Conclusion	


Système: tout système physique se subdivise en 2 sous-systèmes


- un sous-système matériel
- un champ de rayonnement électromagnétique


interaction permanente


	<h1>INTRODUCTION</h1>
<p>Introduction</p> <p>E.T.L.</p> <p>3 modes</p> <p>Objectifs</p> <p>Conclusion</p>	<p style="text-align: center;"><u>Modélisation et limitations</u></p> <p><u>Système matériel:</u></p> <p>classiquement modélisé par un milieu continu</p> <p>approche permettant de prédire précisément des comportements très divers</p> <p><u>Composition au niveau moléculaire:</u></p> <p>molécules, électrons, particules fictives tels les phonons (=quanta d'énergie de vibration pour un solide)</p>


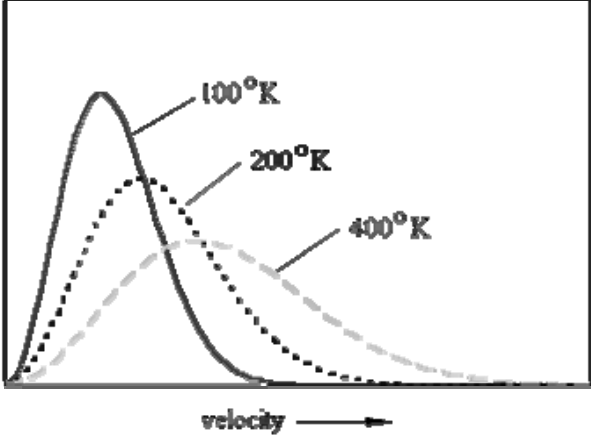
	<h1>INTRODUCTION</h1>
<p>Introduction</p> <p>E.T.L.</p> <p>3 modes</p> <p>Objectifs</p> <p>Conclusion</p>	<p style="text-align: center;"><u>Modélisation et limitations</u></p> <p><u>Système matériel:</u></p> <p>classiquement modélisé par un milieu continu</p> <p>Analyse du système matériel au travers d'éléments de volume</p> <ul style="list-style-type: none"> • arbitrairement petits à l'échelle macroscopique • mais suffisamment grands pour donner sens aux grandeurs macroscopiques comme la pression, la vitesse et la température


	<h2>INTRODUCTION</h2>
<p>Introduction</p> <p>E.T.L.</p> <p>3 modes</p> <p>Objectifs</p> <p>Conclusion</p>	<p style="text-align: center;"><u>Modélisation et limitations</u></p> <p><u>Champ de rayonnement électromagnétique:</u></p> <p>caractérisé à l'échelle macroscopique par la donnée</p> <p>$\forall t, \forall \vec{r}, \forall$ direction \vec{u} de L'_ν, grandeur énergétique appelée <u>luminance monochromatique</u></p> <p>Physiquement, le champ radiatif résulte de la <u>distribution des photons</u> caractérisés chacun par une fréquence ν, une quantité de mouvement \vec{p} et un état de spin m_s.</p>


	<h2>INTRODUCTION</h2>
<p>Introduction</p> <p>E.T.L.</p> <p>3 modes</p> <p>Objectifs</p> <p>Conclusion</p>	<p style="text-align: center;"><u>Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local</u></p> <p><u>Evolution thermique:</u> conséquence d'un déséquilibre thermique, notamment du fait des contraintes imposées par le milieu extérieur</p> <p><u>Retour à l'équilibre:</u> conséquence de nombreux mécanismes à l'échelle élémentaire (collision molécule-molécule, transition molécule-photon, interaction photon-phonon, ...)</p> <p>Physiquement, l'évolution énergétique résulte des <u>couplages à l'échelle macroscopique</u> de tous ces mécanismes élémentaires et des transferts d'énergie liés aux transferts macroscopiques de masse (<u>convection</u>).</p>



	INTRODUCTION
Introduction	<u>Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local</u>
ETL	
3 modes	<u>Retour à l'équilibre</u> : conséquence de nombreux mécanismes à l'échelle élémentaire (collision molécule-molécule, transition molécule-photon, interaction photon-phonon, ...)
Objectifs	
Conclusion	Toute la physique des transferts dans les milieux continus est fondée sur l'ETL: ces transferts résultent d'un <u>déséquilibre faible</u> .
	Sur une durée dt et dans un volume dV :
	$ETL \xi(t) \quad \longrightarrow \quad ETL \xi(t + dt) \textit{ tangent}$
	Concrètement, $\forall t, \forall \vec{r}$, on peut définir les grandeurs physiques intensives et extensives usuelles


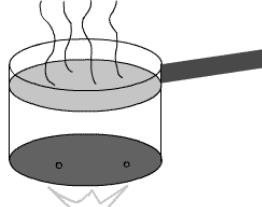
	INTRODUCTION
Introduction	<u>Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local</u>
ETL	
3 modes	<u>Retour à l'équilibre</u> : conséquence de nombreux mécanismes à l'échelle élémentaire (collision molécule-molécule, transition molécule-photon, interaction photon-phonon, ...)
Objectifs	
Conclusion	Toute la physique des transferts dans les milieux continus est fondée sur l'ETL: ces transferts résultent d'un <u>déséquilibre faible</u> .
	$\forall t$, les degrés internes du système matériel sont thermalisés: mathématiquement, la population des niveaux d'énergie correspond à la distribution de <u>Maxwell-Boltzmann</u>


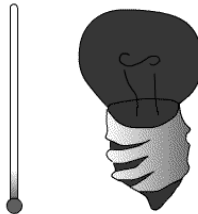
	<h2>INTRODUCTION</h2>
Introduction	Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local
E.T.L.	 <p>Distribution de vitesse suivant la loi de Maxwell-Boltzmann</p>
3 modes	
Objectifs	
Conclusion	


	<h2>INTRODUCTION</h2>
Introduction	Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local
E.T.L.	<p><u>Critère</u>: en pratique, on évalue le nombre de Knudsen Kn</p> $Kn = \frac{lpm}{\sqrt[3]{dV}}$ <p>où lpm est le libre parcours moyen des porteurs d'énergie responsables de la thermalisation</p> <p style="text-align: center;">$Kn \ll 1 \implies$ E.T.L.</p>
3 modes	
Objectifs	
Conclusion	


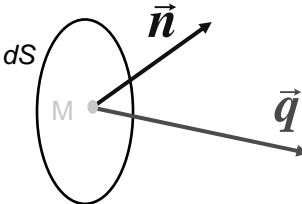
	<h2>INTRODUCTION</h2>
<ul style="list-style-type: none"> Introduction E.T.L. 3 modes Objectifs Conclusion 	<p style="text-align: center;"><u>Déséquilibre thermique / Equilibre Thermodynamique Local</u></p> <p><u>Critère</u>: en pratique, on évalue le nombre de Knudsen Kn</p> <p style="text-align: center;">$Kn \ll 1 \quad \longrightarrow \quad$ E.T.L.</p> <p>Dans le cadre de ce cours, on adoptera l'hypothèse de l'ETL pour le seul système matériel.</p> <p>Le système physique est alors le siège de transformations irréversibles macroscopiques auxquelles sont associées des <u>flux</u>...à définir!</p>

	<h2>LES 3 MODES DE TRANSFERTS</h2>
<ul style="list-style-type: none"> Introduction E.T.L. 3 modes Conduction Convection Rayonnement Objectifs Conclusion 	<p style="text-align: center;"><u>Phénomènes conductifs</u></p> <p><u>Définition</u>: dans un référentiel lié à un élément du système matériel, l'effet cumulé à l'échelle macroscopique du transport par des particules de différentes grandeurs physiques extensives (charges électriques, énergie, ...) se traduit par des flux macroscopiques de diffusion (conduction électrique, conduction thermique, ...)</p> <div style="text-align: center;">  </div>

 <h2 style="text-align: center;">LES 3 MODES DE TRANSFERTS</h2>	
Introduction	<u>Phénomènes convectifs</u>
E.T.L.	<p>Définition: dans un référentiel quelconque, à tout transfert macroscopique de masse engendré par le mouvement global d'une partie du système matériel sont associés des flux macroscopiques (charges électriques, énergie, ...) dits de convection.</p> <p>N.B.: dans un référentiel quelconque, les phénomènes de diffusion et de convection sont couplés...</p>
3 modes	
Conduction	
Convection	
Rayonnement	
Objectifs	
Conclusion	
	

 <h2 style="text-align: center;">LES 3 MODES DE TRANSFERTS</h2>	
Introduction	<u>Phénomènes radiatifs</u>
E.T.L.	<p>Définition: dans le cas où système matériel et champ de rayonnement sont en déséquilibre, les interactions entre molécules et photons conduisent à des flux macroscopiques d'énergie sous forme de rayonnement thermique.</p> <p>N.B.: même lorsque le système matériel est proche de l'ETL, le champ de rayonnement est généralement en profond déséquilibre.</p>
3 modes	
Conduction	
Convection	
Rayonnement	
Objectifs	
Conclusion	
	

	OBJECTIF
Introduction	<u>Objectif</u>
E.T.L.	
3 modes	
Objectifs	Pour tout système physique proche de l'ETL, on cherche à déterminer les évolutions des champs de température $T(\vec{r},t)$ et de flux d'énergie (quelle que soit sa nature) en vue de la maîtrise et du conditionnement thermique de ce système.
Restriction	
Outil	
Conclusion	
	<p><u>Restriction:</u> on se limitera dans le cadre de ce cours aux transferts stationnaires</p> $\frac{\partial A(\vec{r},t)}{\partial t} = 0$ <p>où A est une grandeur physique scalaire, vectorielle, tensorielle</p>

	OBJECTIF
Introduction	<u>Outil principal</u>
E.T.L.	
3 modes	
Objectifs	La puissance $d\Phi$ [W] traversant algébriquement une surface élémentaire dS , orientée par une normale \vec{n} et appelée flux d'énergie à travers dS , s'écrit en fonction du vecteur flux surfacique d'énergie \vec{q}
Restriction	
Outil	
Conclusion	$d\Phi = \vec{q} \cdot \vec{n} dS$ <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>On appelle alors φ le flux surfacique (algébrique) d'énergie au point M à travers la surface dS:</p> $\varphi = \vec{q} \cdot \vec{n}$ </div> </div>

Introduction

E.T.L.

3 modes

Objectifs

Conclusion

$$\vec{q}$$

$$\varphi = \vec{q} \cdot \vec{n}$$

$$d\Phi = \vec{q} \cdot \vec{n} dS$$

restent à définir pour
chacun des trois
modes de transferts
d'énergie