


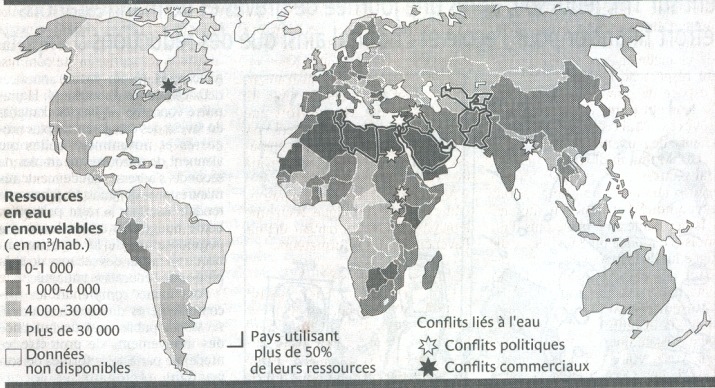

 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>  <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<div data-bbox="491 389 1238 546" style="background-color: #ADD8E6; padding: 10px; text-align: center;"> <h2>Diffusion des Savoirs</h2> </div> <div data-bbox="491 584 1238 705" style="background-color: #ADD8E6; padding: 10px; text-align: center;"> <h3>Eau: ressource et qualité</h3> <h4>1. Où est l'eau?</h4> </div> <p style="text-align: center;">Laurent Charlet  Institut des Sciences de la Terre  Bureau 2120 Maison des Géosciences  Tel: 04.76.63.52.52 et 06.75.87.82.66  Charlet38@gmail.com</p>
1	


 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>  <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<div data-bbox="464 1211 1246 1261" style="background-color: #ADD8E6; padding: 5px;"> <h2>Or bleu « choc pétrolier du XXI<sup>ème</sup> siècle »</h2> </div> <p><b>Quantité: ressource limitée, source de conflits</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Où est l'eau? En France 70% de l'eau potable vient de l'eau souterraine</li> <li>❖ Besoin de « mesurer l'invisible »</li> <li>❖ Conflits entre usagers (ville-campagne-producteurs d'énergie) et entre états (Irak-Turquie, Israéliens-Palestiniens, Canada-USA...)</li> </ul> <div data-bbox="507 1491 1241 1904"> <p style="text-align: center;">Une ressource inégalement partagée</p>  </div>
2	



UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  
Grenoble Alpes

Diffusion des Savoirs

OSUG  
Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble



L. Charlet

Eau: Ressource & Qualité

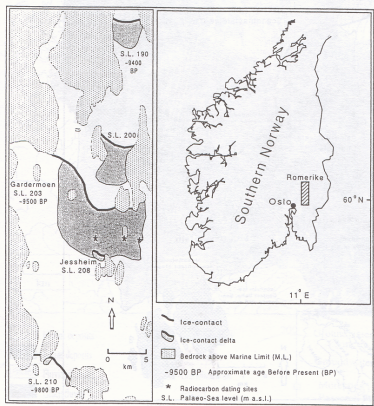
COURS 1: Où est l'eau?


3

## Or bleu: un problème aussi de qualité

**Qualité**

- ❖ Un habitant sur 5 n'a pas d'eau potable et 5 millions de personnes meurent chaque année de l'insalubrité de l'eau
- ❖ Différentes qualités requises pour différents usages (eau potable, énergie, agriculture et industrie)
  - Eau Bleue (rivière et aquifères)
  - Eau Verte (sol)
  - Eau Noires (matières fécales, PCP)
  - Eau Grise (vaisselle, bain, douches)
- ❖ Pollutions naturelles et anthropiques et leur transport
- ❖ Ressources stratégiques à préserver (IBM et l'exploitation de la nappe stratégique de l'Albien (puits de Grenelle) à Paris; Aéroport d'Oslo et la nappe morainique de Gardemoen): vers des parcs naturels hydrologiques??






UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  
Grenoble Alpes

Diffusion des Savoirs

OSUG  
Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble



L. Charlet

Eau: Ressource & Qualité

COURS 1: Où est l'eau?


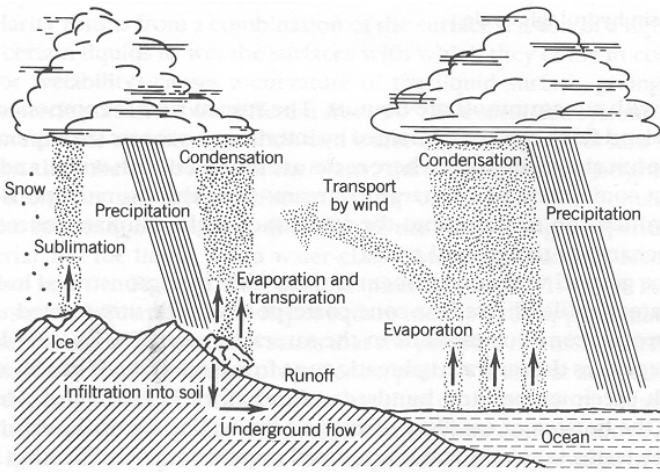

4


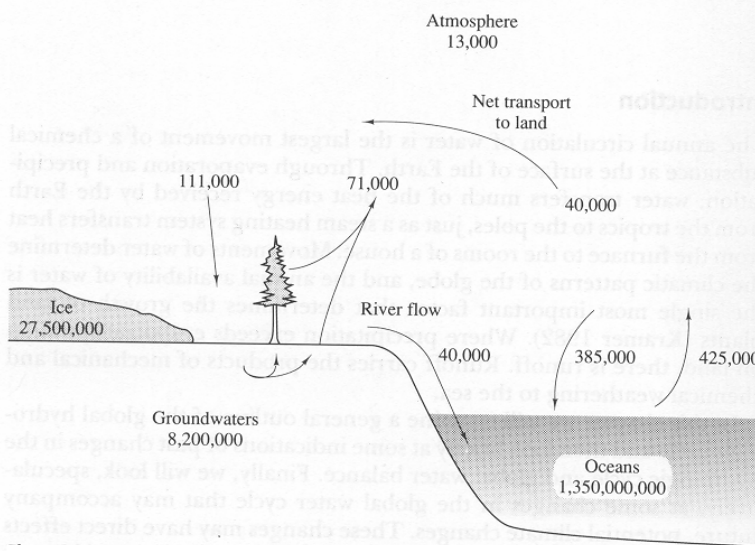

## Les grands réservoirs d'eau


**Inventaire des ressources en eau**

Reservoir	Volume 10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup> (10 <sup>18</sup> kg)	Percent of Total
Oceans	1400.	95.96
Mixed layer	50.	
Thermocline	460.	
Abyssal	890.	
Ice caps and glaciers	43.4	2.97
Groundwater	15.3	1.05
Lakes	0.125	0.009
Rivers	0.0017	0.0001
Soil Moisture	0.065	0.0045
Atmosphere total <sup>a</sup>	0.0155	0.001
Terrestrial	0.0045	
Oceanic	0.0110	
Biosphere	0.002	0.0001
Approximate total	1459.	

- ❖ Faible % d'eau de bonne qualité facilement accessible
- ❖ Système dynamique, séquentiel (apports/réservoirs de stockage/exports), fermé

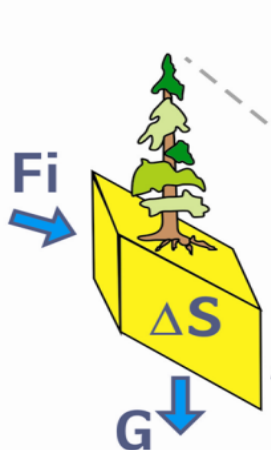
	<h2>Les grandes flux d'eau</h2>	
<p>Diffusion des Savoirs</p>		
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>		
		
<p>L. Charlet</p>		
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>		
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>		
<p>5</p>		

	<h2>Les flux à l'échelle planétaire</h2>	
<p>Diffusion des Savoirs</p>		
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>		
		
<p>L. Charlet</p>		
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>		
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>		
<p>6</p>	<p>Réservoirs (en km<sup>3</sup>) et flux – les flèches (en km<sup>3</sup>/an)</p>	

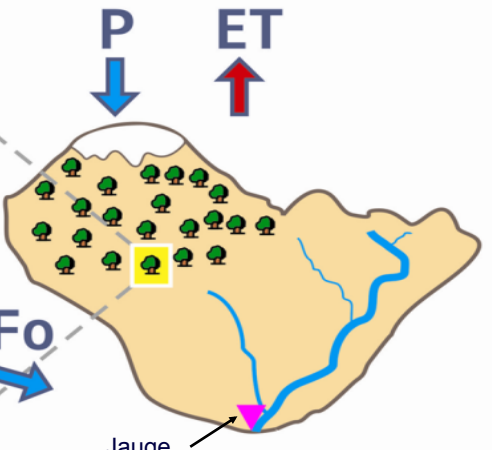


UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  
OSUG  
IUF

## Bilan sur un Bassin Versant (« BV »)



$F_i$   
 $G$   
 $\Delta S$   
 $F_o$   
 $ET$




$P$   
 $ET$   
Jauge

L. Charlet

Eau:  
Ressource &  
Qualité

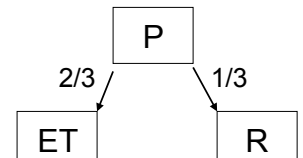
COURS 1:  
Où est l'eau?

7



UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  
OSUG  
IUF

## Précipitation (P), (ET) et ruissellement (R)



$P$   
 $\swarrow$   $\searrow$   
 $ET$   $R$

Atmosphere - the gaseous envelope around the earth  
Hydrosphere - the discontinuous body of water at the earth's surface  
Lithosphere - the solid crustal material near the earth's surface

**P** precipitation - water transfer from the atmosphere to the earth's surface  
**ET** evapotranspiration - water transfer from the earth's surface to the atmosphere  
interception - water transfer to the atmosphere after capture by a vegetation canopy (or a structure)  
throughfall - water transfer from the atmosphere through a vegetation canopy (or a structure) to the earth's surface  
**R** runoff - water discharge at the outlet of a drainage basin  
infiltration - water movement in the lithosphere above the water table  
water table - surface that marks the upper boundary of the water-saturated zone in the lithosphere  
groundwater - water in the lithosphere below the water table

23% prairies +cultures  
16% forêt  
26% autres

3/4 Lacs et Océans


1/4 utilisés  
Irrigation  
Industrie..

L. Charlet

Eau:  
Ressource &  
Qualité

COURS 1:  
Où est l'eau?

8



**Diffusion des Savoirs**

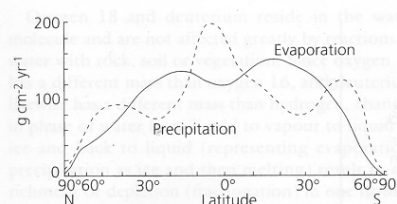
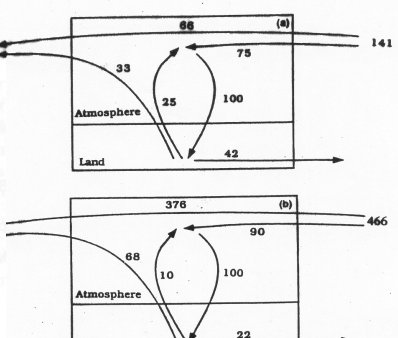
**L. Charlet**

*Eau: Ressource & Qualité*

**COURS 1: Où est l'eau?**

9

## Evapo-Transpiration (ET)





**Effet de la latitude (déserts tropicaux et polaires)**

**Cycles régionaux avec P annuel = 100**

(a) en Amazonie: 25% de P est évaporée puis retombe sur place sous forme P

(b) dans le bassin du Mississippi: 68% de P est exportée hors du bassin en évaporation



**Diffusion des Savoirs**

**L. Charlet**

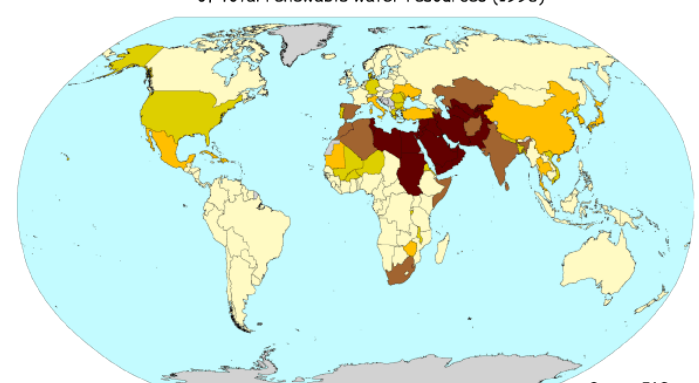
*Eau: Ressource & Qualité*

**COURS 1: Où est l'eau?**

10

## Irrigation (I)



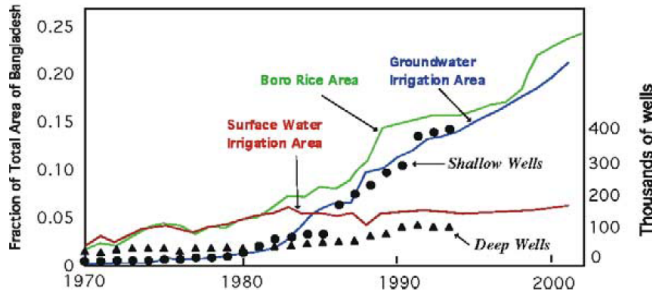
Agricultural water withdrawals as a percentage of total renewable water resources (1998)






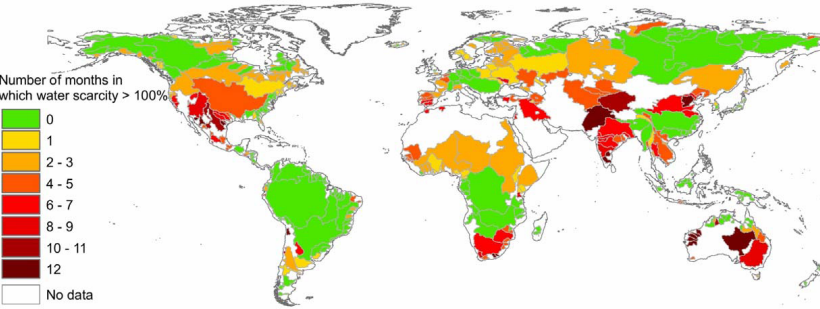
Source: FAO



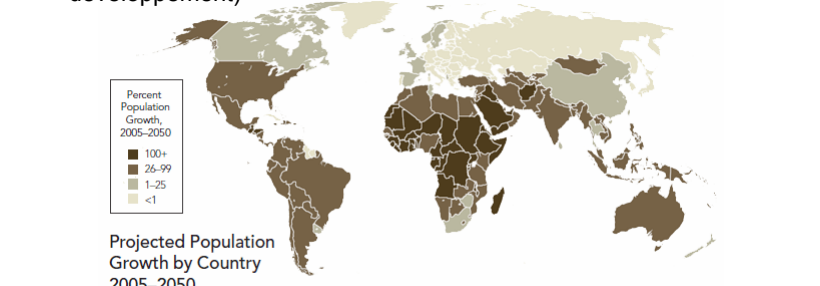
Category	Percent
1	No data
2	0-5
3	5-10
4	10-20
5	20-40
6	> 40

Map showing where withdrawals for agriculture are critically high (category 5) and indicative of water stress (category 4).

 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER OSUG IUF</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<h2 style="text-align: center;">Irrigation (suite)</h2> <p>Le riz, aliment de base de 3 milliards d'êtres humains majoritairement asiatiques consomme la moitié de l'eau utilisée dans le monde pour l'irrigation des terres agricoles. Le forage récent de millions de puits lors de la « Révolution verte » a permis une rapide expansion du « boro rice ».</p>  <h3 style="text-align: center;">Boro Rice Cultivation and Number of Wells</h3>  <p>The graph shows the following trends:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Boro Rice Area (Green line):</b> Increases from near 0 in 1970 to approximately 0.24 by 2000.</li> <li><b>Surface Water Irrigation Area (Red line):</b> Increases from approximately 0.02 in 1970 to 0.06 in 2000.</li> <li><b>Groundwater Irrigation Area (Blue line):</b> Increases from near 0 in 1970 to approximately 0.18 by 2000.</li> <li><b>Shallow Wells (Black circles):</b> Number increases from near 0 in 1970 to approximately 400,000 by 2000.</li> <li><b>Deep Wells (Black triangles):</b> Number increases from near 0 in 1970 to approximately 100,000 by 2000.</li> </ul> <p style="text-align: center;">11</p>
--	--

 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER OSUG IUF</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<h2 style="text-align: center;">Irrigation</h2> <p><u>Risques dans le futur:</u></p> <p>La croissance des surfaces irriguées n'est pas « durable » car (1) elle conduit dans certaines régions de l'Inde et de la Chine à une chute du niveau piézométrique, (2) elle est souvent basée comme en Arabie ou Lybie sur l'exploitation d'eau « fossiles » et (3) l'eau extraite est souvent contaminée (As). De plus, et rien qu'en Asie du Sud Est, 23 millions d'ha de rizières sont menacés par la sécheresse, 23 millions par les inondations et 16 millions par la salinité (données IRRI).</p> <p>Or si pour d'autres plantes, l'usage du goutte à goutte permet de réduire la consommation d'eau, le rendement chute de 3T/ha si cultivé à sec (contre 8-9T/ha) pour le riz inondé (paddy).</p> <p>Et si une telle culture (souvent réalisée comme 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> récolte) permet une réduction des émissions de méthane, sa généralisation requerrait une utilisation massive d'herbicide, les mauvaises herbes pullulant lors de la culture à sec.</p> <p><u>Efficiency de l'eau:</u></p> <p>Litres d'eau pour produire 1 kg de matière sèche (paille + grain)</p> <table border="0"> <tr><td>Mais ensilage</td><td>238</td></tr> <tr><td>Mais grain</td><td>454</td></tr> <tr><td>Orge</td><td>524</td></tr> <tr><td>Pom. de terre</td><td>590</td></tr> <tr><td>Tournesol</td><td>350</td></tr> <tr><td>Blé</td><td>590</td></tr> <tr><td>Soja</td><td>900</td></tr> <tr><td>Riz pluvial</td><td>1 600</td></tr> <tr><td>Riz inondé</td><td>5 000</td></tr> <tr><td>Coton</td><td>5 263</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">12</p>	Mais ensilage	238	Mais grain	454	Orge	524	Pom. de terre	590	Tournesol	350	Blé	590	Soja	900	Riz pluvial	1 600	Riz inondé	5 000	Coton	5 263
Mais ensilage	238																				
Mais grain	454																				
Orge	524																				
Pom. de terre	590																				
Tournesol	350																				
Blé	590																				
Soja	900																				
Riz pluvial	1 600																				
Riz inondé	5 000																				
Coton	5 263																				


	<h2>Limites d'utilisation de l'eau bleue</h2>									
<p>Diffusion des Savoirs</p>										
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p>										
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La consommation de l'eau bleue (eau de surface et eau souterraine) pour l'agriculture représente 85 % de l'utilisation globale de l'eau bleue (<i>Mekonnen &amp; Hoekstra, Hydrol. Earth Syst. Sci. 15, 1577 (2011)</i>)</li> <li>Une rareté d'eau bleue &gt; 100 % indique une consommation de &gt; 20 % du ruissellement potentiel d'un bassin, avec de forts risques de dommages écologiques. Aujourd'hui, 2.7 milliards d'habitants vivent dans des bassins où une rareté d'eau bleue &gt; 200 % a lieu au moins un mois par an (<i>Hoekstra et al., PLoS ONE 7(2), e32688 (2012)</i>)</li> </ul>									
<p>L. Charlet</p>	 <p>Number of months in which water scarcity &gt; 100%</p> <table border="1"> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>1</td></tr> <tr><td>2-3</td></tr> <tr><td>4-5</td></tr> <tr><td>6-7</td></tr> <tr><td>8-9</td></tr> <tr><td>10-11</td></tr> <tr><td>12</td></tr> <tr><td>No data</td></tr> </table>	0	1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12	No data
0										
1										
2-3										
4-5										
6-7										
8-9										
10-11										
12										
No data										
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>										
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>										
<p>13</p>										


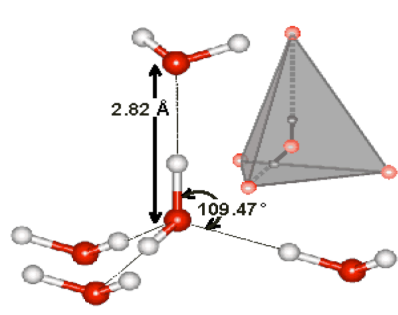
	<h2>Pression démographique</h2>				
<p>Diffusion des Savoirs</p>					
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentation de 30% de la population d'ici à la fin du siècle</li> <li>Nous devons augmenter de 65 à 75% la nourriture disponible (non seulement à cause de l'augmentation de population mais aussi à cause de l'augmentation de bien être des pays en voie de développement)</li> </ul>				
<p>L. Charlet</p>	 <p>Percent Population Growth, 2005-2050</p> <table border="1"> <tr><td>100+</td></tr> <tr><td>26-99</td></tr> <tr><td>1-25</td></tr> <tr><td>&lt;1</td></tr> </table> <p>Projected Population Growth by Country 2005-2050 SOURCE: PRB, 2011</p>	100+	26-99	1-25	<1
100+					
26-99					
1-25					
<1					
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>					
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'agriculture occupe maintenant 38 % de la surface continentale non gelée, et a utilisée 70 % des prairies, 50 % of des savannes, 45 % des forêts de feuillus, et 27 % des biomes forestiers tropicaux, présents initialement (<i>Foley et al., Nature 478, 337 (2011)</i>)</li> </ul>				
<p>14</p>					


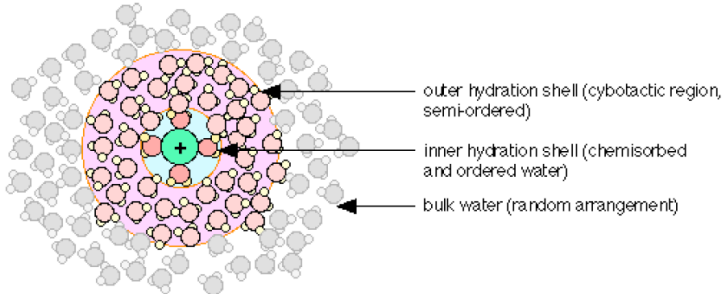
<p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER Observatoire OSUG des Sciences de l'Univers de Grenoble IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>15</p>	<h2 style="text-align: center;">Une extension de terres cultivables limitée</h2> <ul style="list-style-type: none"> <li>Les terres cultivées occupent maintenant 12% des terres émergées. Leur impact sur les biomes non agricoles et les ressources en eau ont conduits à un appel pour limiter les zones agricoles à 15% des surfaces émergées non glacées. (Rockström et al., <i>Ecol. Soc.</i> 14, 32 (2009))</li> <li>La conversion de forêts tropicales en terre agricole induit de fortes pertes en biodiversité, de graves effets sur le cycle de l'eau et de fortes perte du carbone par unités de rendement agricole. (West et al., <i>PNAS</i> 107, 19645 (2010); Davidson et al., <i>Nature</i> 481, 321 (2012))</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <h3>Balance of Land Used for Agriculture</h3> <p>Institute on the Environment, University of Minnesota, USA</p> </div>
--	--


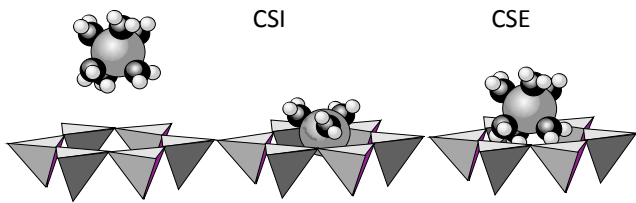
<p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER Observatoire OSUG des Sciences de l'Univers de Grenoble IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>16</p>	<h2 style="text-align: center;">Etudes à différentes échelles</h2> <p style="text-align: center;">Eau dans interfeuillel nanométrique des argiles</p>
--	---


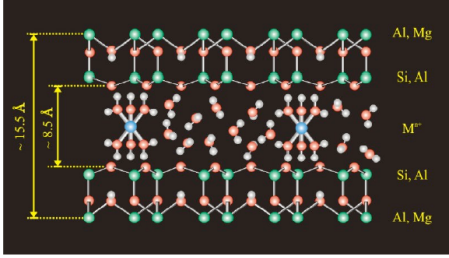



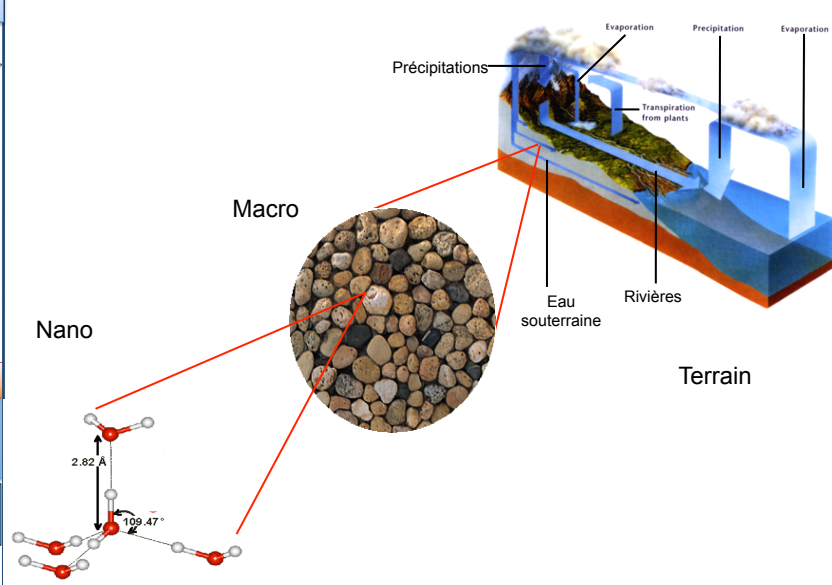
 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p> <p>IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>17</p>	<h2 style="text-align: center;">Eau à l'échelle moléculaire</h2> <div style="background-color: #4F81BD; color: white; padding: 10px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <h3>Caractéristiques :</h3> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Très bon solvant</li> <li>• Point d'ébullition élevé</li> <li>• Densité du liquide + élevée que le solide</li> <li>• Viscosité faible</li> <li>• Tension superficielle élevée</li> </ul>
---	---


 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p> <p>IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>18</p>	<h2 style="text-align: center;">Organisation de l'eau: la liaison hydrogène</h2> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Liaisons H: intermédiaires entre liaisons covalentes et liaisons de Van der Waals</li> <li>❖ voir « Pour la Science » Janv 2013: Pourquoi les constructions en terre sont si solides?</li> </ul>
---	---

	<h2>Les ions dans l'eau et leur hydratation</h2>
<p>Diffusion des Savoirs</p>	
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>	
<p>IUF</p>	
<p>L. Charlet</p>	
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>	
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	
<p>19</p>	 <p>outer hydration shell (cybotactic region, semi-ordered) inner hydration shell (chemisorbed and ordered water) bulk water (random arrangement)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Les ions se meuvent dans l'eau entourés d'un nuage de molécules d'eau (leur « sphère d'hydratation »)</li> <li>❖ Cette structure de l'eau autour des ions dicte leur capacité à pénétrer la cellule via des canaux ioniques (l'ion <math>\text{Na}^+</math> « petit » ne passe pas dans les canaux à <math>\text{K}^+</math> car plus hydraté)</li> <li>❖ Ou à se fixer aux particules. Ainsi la décontamination des eaux de lacs et rivières polluées en <math>\text{Cs}^+</math> après l'accident de Tchernobyl ne fut réalisée par les particules en suspension que parce que le <math>\text{Cs}^+</math> perd facilement son eau d'hydratation et se fixe de façon quasi irréversible sur les particules d'argiles, et fut ainsi transféré dans le sédiment ou « vase »)</li> </ul>

	<h2>Adsorption sur les argiles</h2>
<p>Diffusion des Savoirs</p>	
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>	
<p>IUF</p>	
<p>L. Charlet</p>	
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>	<p><b>Adsorption:</b> Se fait selon 3 modes: attraction électrostatique (ions présents dans la « double couche »), formation de complexes réversibles (complexes de sphère externe, CSE) ou au contraire très stables (complexes de sphère interne, CSI)</p>
<p>L. Charlet</p>	
<p>L. Charlet</p>	<p><b>Principe HSAB (Hard and Soft Acid and Base):</b> Les acides (=cations) durs (<math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Na}^+</math>) forment des complexes (de sphère externe) avec les bases (= ligands) durs, les acides mou (forte électronégativité et polarisabilité: les « métaux lourds ») forment des complexes de sphère interne avec les bases molles. Les argiles sont des bases, et les thiols (matière organique et vivant) des bases molles</p>
<p>L. Charlet</p>	
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>	
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	
<p>20</p>	

 <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>21</p>	<h2 style="text-align: center;">Eau liée au sol: cas des argiles</h2>
	<p>❖ Coupe d'un agrégat d'argile, où deux particules aluminosilicatées sont séparées par un espace « interfoliaire » rempli de cations (<math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{K}^+</math>..) et de molécules d'eau très organisées (étudiées à l'ILL et ESRF)</p>
	
	<p>❖ Disponibilité de l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une petite fraction de l'eau totale est disponible pour la consommation et l'agriculture ou l'industrie</li> <li>- Une fraction de l'eau d'un sol est « immobile » dans les sols et à plus petite échelle encore dans les pores des argiles ou des nanoparticules en général: présence d'eau « liée » ou « immobile » même dans un sol sec</li> </ul> <p>❖ L'hydrologue lui s'intéresse à l'eau « libre » (désordre moléculaire)</p>

 <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>22</p>	<h2 style="text-align: center;">Changement d'échelle</h2>
	



Diffusion des Savoirs

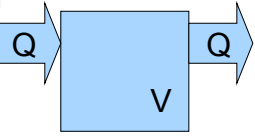
L. Charlet

Eau: Ressource & Qualité

COURS 1: Où est l'eau?

23

## Temps de résidence de l'Eau



Réservoir	% eau douce non gelée	$\tau_w$
Atmosphère	0.16 %	8-10 j
Rivières	0.016 %	10 j
Sols	0.72 %	2 mois
Lacs	1.42 %	1 à 100 ans
Eau souterraine < 800 m	70% eau potable 48.8 %	100 à 10000 ans
Eau souterraine > 800 m	48.8 %	> 10000 ans

Temps de séjour


$$\tau_w = \frac{V}{Q}$$

❖ Les eaux « fossiles » correspondent à des eaux dont la recharge était assurée quand les déserts étaient verts, ce qui n'est plus le cas, et donc à un long temps de séjour

❖ Les eaux sont d'autant plus difficiles à dépolluer que leur  $\tau_w$  est élevé: menaces sur l'eau souterraine « invisible »

❖ Pour comparaison:  $\tau_w =$

- ❖ Océan: 4 000 ans
- ❖ Glace: 10 à plusieurs milliers d'années



Diffusion des Savoirs

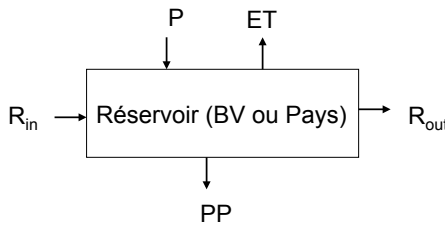
L. Charlet

Eau: Ressource & Qualité

COURS 1: Où est l'eau?

24

## Calculs de bilans hydriques







Entrée =  $I_{in} = P + R_{in}$  (= précipitation + débit rivières entrantes)

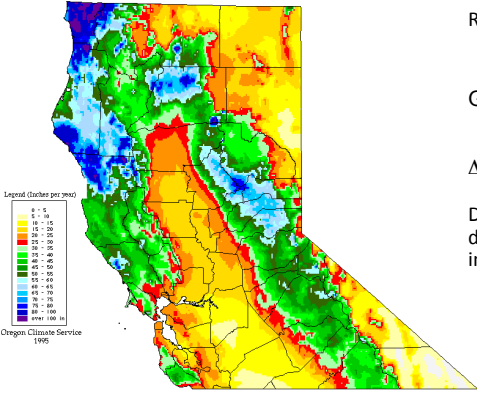
Sortie =  $O_{out} = ET + PP + R_{out}$  (= évapotranspiration + Percolation Profonde vers GW + débit rivières sortantes)

ou




$$\Delta S = I_{in} - O_{out}$$
 (variation des stocks)




	<h2>Exemple 1: BV de prairies (Appalaches)</h2>	
<p>Diffusion des Savoirs</p>		
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p>		
		
<p>L. Charlet</p>		
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>		
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>		
<p>25</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="469 456 845 884"> </div> <div data-bbox="925 465 1212 985"> <p> <math>P = 2324 \text{ mm/an}</math>  <math>ET = 1253 \text{ mm/an}</math>  <math>R_{out} = 258 \text{ mm/an}</math>  <math>\Delta S = 37 \text{ mm/an}</math>                      Surface = 4,3 ha                      Débit exutoire = 776 (mm/an)                 </p> <p> <math>\Delta S = P - ET - R_{out} - PP</math>                      = stockage eau du sol                      Donc:                 </p> <p> <math>PP = \text{débit des sources}</math>                      (car socle granitique)  <math>= P - ET - R_{out} - \Delta S</math>  <math>= 776 \text{ mm/an}</math> </p> <p>                     Débit exutoire =  <math>776 \text{ (mm/an)} \times 10^{-3} \text{ (m/mm)} \times 4,3 \text{ (ha)} \times 10^4 \text{ (m}^2\text{/ha)}</math>  <math>= 33,37 \text{ m}^3\text{/an}</math> </p> </div> </div> <div data-bbox="443 884 877 907" style="font-size: small;"> <p>Fig. 1.16 The components of the hydrological cycle for a catchment. The individual storages (boxes) exist along a route from an input precipitation through to a river flow as an output from the catchment. After Newson (1994) [18].</p> </div>	



	<h2>Exemple 2: La Californie</h2>	
<p>Diffusion des Savoirs</p>		
<p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p>		
		
<p>L. Charlet</p>		
<p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p>		
<p>COURS 1: Où est l'eau?</p>		
<p>26</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="454 1355 885 1870"> </div> <div data-bbox="821 1299 1197 1814"> <p>L'agriculture la plus intensive au monde (Vallée Centrale) et très consommatrice d'eau d'irrigation</p> <p>Des villes (Los Angeles) très demandeuses d'eau car dans le désert</p> <p>Une politique ancienne de l'eau et une volonté récente de résoudre ces problèmes (et ceux de la pollution automobile, du coût énergétique des constructions, etc..)</p> <p>Lecture recommandée:                      « Cadillac desert » (1986), roman de Marc Reisner retraçant la conquête de l'Ouest via la guerre pour l'eau.</p> </div> </div>	

<p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p> <p>IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>27</p>	<h2 style="text-align: center;">La Californie: situation limite</h2> <p>Unité: MAF = million de Acre-foot avec 1 AF = 325,85 gallons = 1,233 m<sup>3</sup> (1 acre = 4046 m<sup>2</sup>)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p>Legend (Inches per year)</p> <p>0 - 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 25 25 - 30 30 - 35 35 - 40 40 - 45 45 - 50 50 - 55 55 - 60 60 - 65 65 - 70 70 - 75 75 - 80 80 - 85 85 - 90 90 - 95 95 - 100 100 - 105 105 - 110 110 - 115 115 - 120 120 - 125 125 - 130 130 - 135 135 - 140 140 - 145 145 - 150 150 - 155 155 - 160 160 - 165 165 - 170 170 - 175 175 - 180 180 - 185 185 - 190 190 - 195 195 - 200 200 - 205 205 - 210 210 - 215 215 - 220 220 - 225 225 - 230 230 - 235 235 - 240 240 - 245 245 - 250 250 - 255 255 - 260 260 - 265 265 - 270 270 - 275 275 - 280 280 - 285 285 - 290 290 - 295 295 - 300 300 - 305 305 - 310 310 - 315 315 - 320 320 - 325 325 - 330 330 - 335 335 - 340 340 - 345 345 - 350 350 - 355 355 - 360 360 - 365 365 - 370 370 - 375 375 - 380 380 - 385 385 - 390 390 - 395 395 - 400 400 - 405 405 - 410 410 - 415 415 - 420 420 - 425 425 - 430 430 - 435 435 - 440 440 - 445 445 - 450 450 - 455 455 - 460 460 - 465 465 - 470 470 - 475 475 - 480 480 - 485 485 - 490 490 - 495 495 - 500 500 - 505 505 - 510 510 - 515 515 - 520 520 - 525 525 - 530 530 - 535 535 - 540 540 - 545 545 - 550 550 - 555 555 - 560 560 - 565 565 - 570 570 - 575 575 - 580 580 - 585 585 - 590 590 - 595 595 - 600 600 - 605 605 - 610 610 - 615 615 - 620 620 - 625 625 - 630 630 - 635 635 - 640 640 - 645 645 - 650 650 - 655 655 - 660 660 - 665 665 - 670 670 - 675 675 - 680 680 - 685 685 - 690 690 - 695 695 - 700 700 - 705 705 - 710 710 - 715 715 - 720 720 - 725 725 - 730 730 - 735 735 - 740 740 - 745 745 - 750 750 - 755 755 - 760 760 - 765 765 - 770 770 - 775 775 - 780 780 - 785 785 - 790 790 - 795 795 - 800 800 - 805 805 - 810 810 - 815 815 - 820 820 - 825 825 - 830 830 - 835 835 - 840 840 - 845 845 - 850 850 - 855 855 - 860 860 - 865 865 - 870 870 - 875 875 - 880 880 - 885 885 - 890 890 - 895 895 - 900 900 - 905 905 - 910 910 - 915 915 - 920 920 - 925 925 - 930 930 - 935 935 - 940 940 - 945 945 - 950 950 - 955 955 - 960 960 - 965 965 - 970 970 - 975 975 - 980 980 - 985 985 - 990 990 - 995 995 - 1000</p> <p>Oregon Climate Service 1996</p> <p style="text-align: center;">Annual Average Precipitation (Inches), Northern California Period: 1961-1990</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>P = 193 MAF/an R<sub>in</sub> (Colorado + Orégon) = 1 = 6,2 MAF/an ET = 147 MAF/an = 62,5 % de P R<sub>out</sub> = 53,9 MAF/an (San Joaquin + autres petits fleuves)</p> <p>Grossièrement P - ET ~ R<sub>out</sub> - R<sub>in</sub></p> <p><math>\Delta S = I_{in} - O_{out} = -1,7 \text{ MAF/an}</math></p> <p>Donc léger excès de pompage dans nappes, et localement, intrusions marines (Los Angeles)</p> </div> </div>
--	--

<p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>OSUG Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble</p> <p>IUF</p> <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p> <p>28</p>	<h2 style="text-align: center;">Effet de l'Homme sur le bilan hydrique (1)</h2> <p><u>Eau atmosphérique:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Modification du climat             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ensemencement des nuages peut étre efficace (≠ neige par bactéries en station)</li> <li>-Production de chaleur encore faible</li> <li>-Changement de végétation: effet sur ET</li> </ul> </li> <li>❖ Réduction de ET             <ul style="list-style-type: none"> <li>-méthodes chimiques efficaces que dans petits barrages</li> <li>-Effet de la déforestation: augmentation du ruissellement</li> </ul> </li> <li>❖ Urbanisation             <ul style="list-style-type: none"> <li>-zone tempérée/humide: P (nucléation), ET</li> <li>-Zone semi-aride: P et ET (gazon..)</li> </ul> </li> </ul>
--	---

	<h2>Effet de l'Homme sur le bilan hydrique (2)</h2>
Diffusion des Savoirs	
	
	<p><u>Eau de surface:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Occupation des sols: Urbanisation <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruissellement</li> <li>- Qualité de l'Eau</li> <li>- Transport de sédiment (érosion accélérée pendant construction, puis infiltration limitée)</li> </ul> </li> <li>❖ Barrages <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evapo Transpiration</li> <li>- Transport de sédiment et stratification</li> </ul> </li> <li>❖ Projets d'irrigation <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau de nappe</li> <li>- Salinité (pas seulement en zone semi-aride: voir colza en Argentine)</li> </ul> </li> </ul>
L. Charlet	
Eau: Ressource & Qualité	
COURS 1: Où est l'eau?	
29	

	<h2>Effet de l'Homme sur le bilan hydrique (3)</h2>
Diffusion des Savoirs	
	
	<p><u>Eau Souterraine:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Projets d'irrigation <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau des nappes (les nappes du NE de la Chine baissent de 1 m/an en ce moment!)</li> <li>- Qualité de l'eau (salinisation et pollution azotée: plaine de Valencia et Colorado à l'entrée du Mexique)</li> </ul> </li> <li>❖ L'urbanisation change sa qualité et sa quantité <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage d'eau souterraine et intrusion eau salée (Valencia, Los Angeles) Action: injection d'eaux de sortie de stations d'épuration</li> <li>- Retombées atm. De polluants, épendage de boues, fuites d'égouts (Mexico City)</li> <li>- ET: conduit à l'élévation du niveau des nappes (imperméabilisation de la surface)</li> <li>- Diminution de recharge de nappe</li> <li>- Recharge artificielle à l'échelle de l'immeuble (Zurich) ou du bassin (Los Angeles)</li> </ul> </li> </ul> <p style="color: red;"><b>Or dans les 15 prochaines années, 500 millions de chinois vont aller à la ville!</b></p>
L. Charlet	
Eau: Ressource & Qualité	
COURS 1: Où est l'eau?	
30	

Summary	
 <p>UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER 1956-2014</p> <p>Diffusion des Savoirs</p> <p>Observatoire <b>OSUG</b> des Sciences de l'Univers de Grenoble</p>  <p>L. Charlet</p> <p>Eau: Ressource &amp; Qualité</p> <p>COURS 1: Où est l'eau?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Surface waters</b> (Lakes and Rivers) represent less than 0.1% of water present at the Earth surface. Aquifers represent the major Water reservoir (groundwaters represent 1% of Earth surface waters, with 8 million km<sup>3</sup> and insure 70% of water consumption in France)</li> <li>▪ Non frozen water is usually mobile except for the <b>immobile water</b> found within soils and sediments at <u>the clay/water</u> interface.</li> <li>▪ The <b>hidden groundwater resource</b> must be protected. Its contamination takes a very long time to be cleaned up compared to surface waters (residence time – defined as the volume divided by input/output water flux - of a few weeks to &gt;10000 years, compared to 1 week for rivers and one month to one year for most lakes)</li> <li>▪ Mankind impacts atmospheric-, surface-, and ground-water via its effect on P, ET, R<sub>out</sub> via change in <b>runoff</b> (urbanisation, water flood control..), in vegetation (forest clearance, tillage..), overabstraction of groundwater and <b>seawater intrusion</b>.</li> <li>▪ <b>Regional water balance</b> computations require the estimate of input (<math>I_{in} = P + R_{in}</math>), output (<math>O_{out} = ET + DP + R_{out}</math>) fluxes , and storage capacity variation (<math>\Delta S = I_{in} - O_{out}</math>)</li> <li>▪ Case studies: <b>California</b>, the most productive area in the world has a <b><math>\Delta S</math> slightly negative</b>, thus has a long term problem (linked furthermore to restrictions on water imported from the Colorado River).</li> </ul>
31	