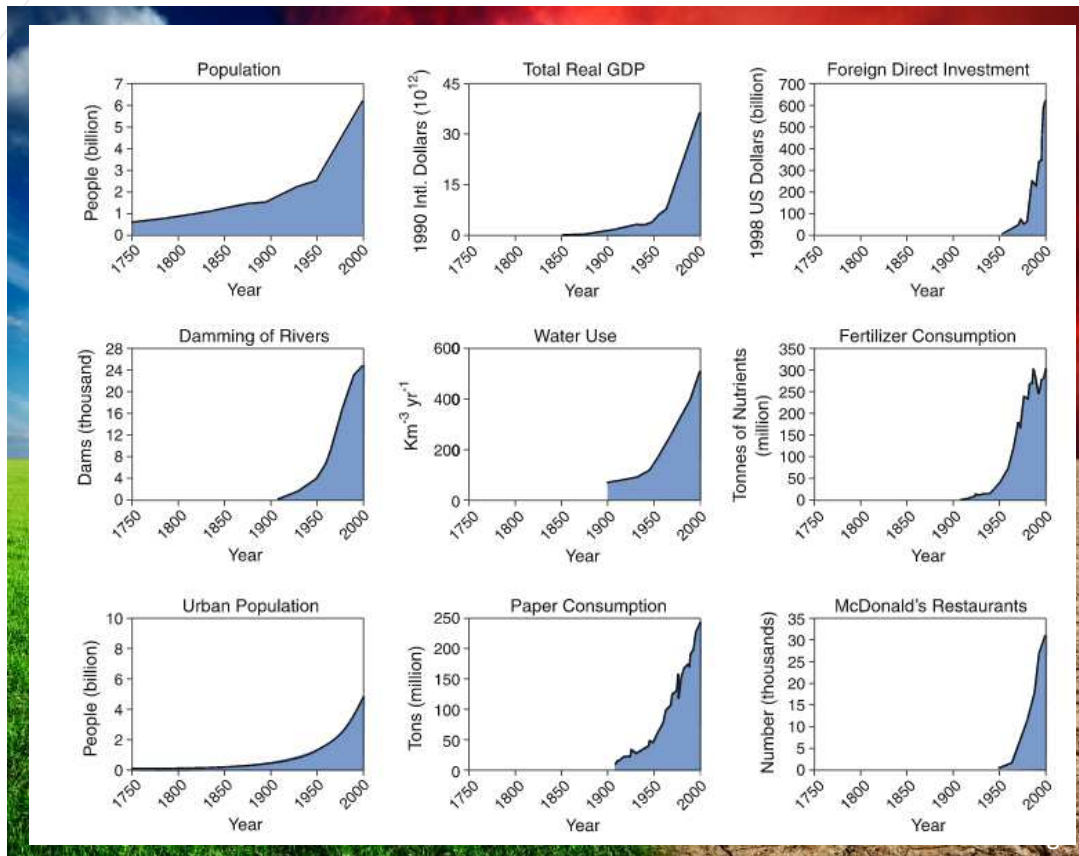


La non stationnarité des systèmes hydrologiques dans le bassin de la Moselle

Nicht-stationnarität von hydrologischen Systemen im Einzugsgebiet der Mosel

Laurent Pfister, Luxembourg Institute of Science and Technology

La Terre – une planète soumise à un changement rapide



L'impact socio-économique du changement global [exemples]



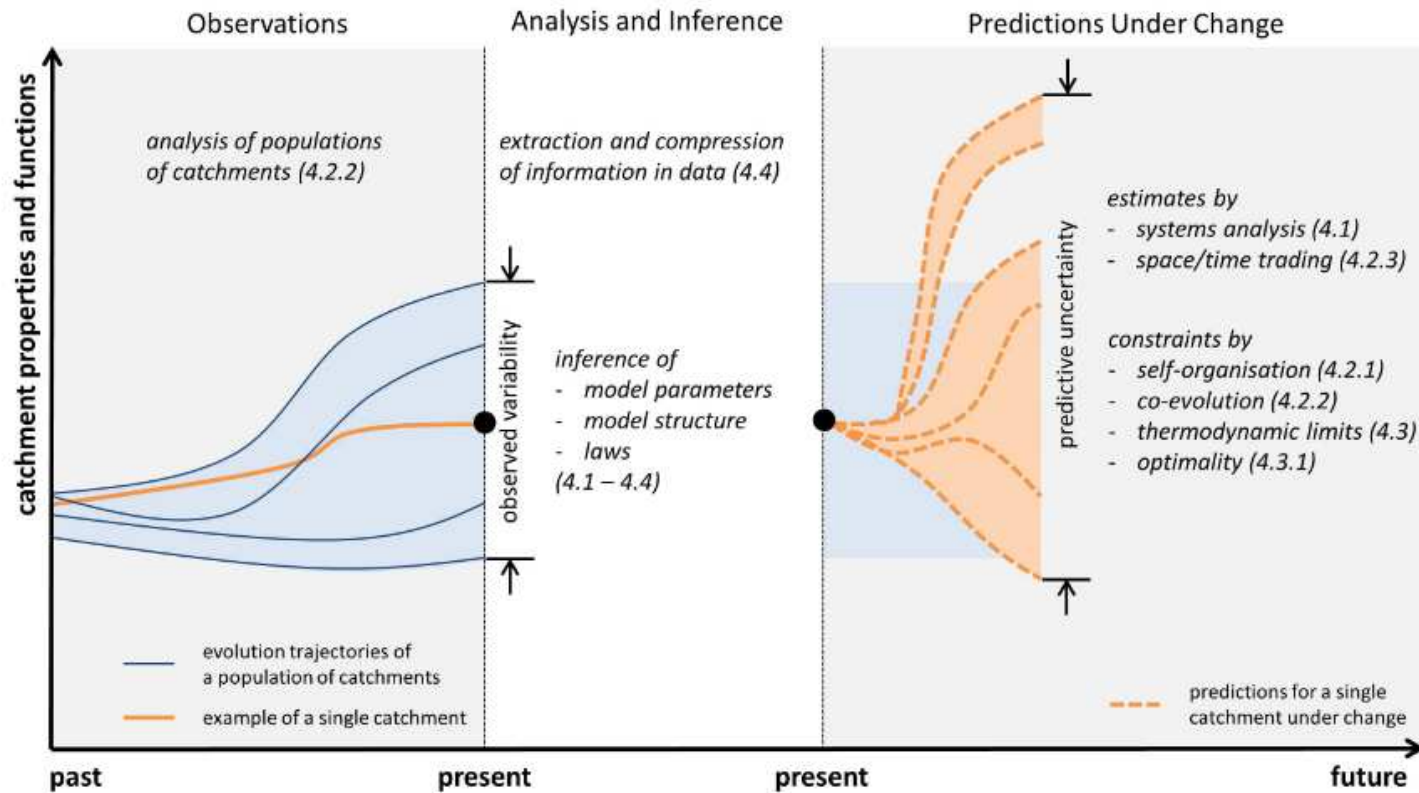
United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015:
Expected (worldwide) **average annual losses from natural hazards: €276 bn**

Munich Re, 2014:
In Europe, **losses due to severe floods amounted to €11.7 bn in 2013**



Administration de la Gestion de l'Eau, 2014:
In Luxembourg, floods are the natural hazard that trigger the **highest level of damage and involve the largest number of municipalities**

Prédictions hydrologiques dans un contexte de changement global



Ehret et al., 2014: 'Advancing catchment hydrology to deal with predictions under Change', Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 649–671.

Prédictions hydrologiques dans un contexte de changement global

- Supposer la **stationnarité des hydrosystèmes** limite le développement de nouveaux outils de prévision et de prédiction
- **Les hydrosystèmes sont non-stationnaires** et par conséquent les processus qui contrôlent la transformation pluie-débit sont **variables dans le temps**

CLIMATE CHANGE

Stationarity Is Dead: Whither Water Management?

P. C. D. Milly,^{1*} Julio Betancourt,² Malin Falkenmark,³ Robert M. Hirsch,⁴ Zbigniew W. Kundzewicz,⁵ Dennis P. Lettenmaier,⁶ Ronald J. Stouffer⁷

Systems for management of water throughout the developed world have been designed and operated under the assumption of stationarity. Stationarity—the idea that natural systems fluctuate within an unchanging envelope of variability—is a foundational concept that permeates training and practice in water-resource engineering. It implies that any variable (e.g., annual streamflow or annual flood peak) has a time-invariant (or 1-year-periodic) probability density function (pdf), whose properties can be estimated from the instrument record. Under stationarity, pdf estimation errors are acknowledged, but have been assumed to be reducible by additional observations, more efficient estimators, or regional or paleohydrologic data. The pdfs, in turn, are used to evaluate and manage risks to water supplies, water-



An uncertain future challenges water planners.

Le bassin-versant: un filtre naturel

L'impressionnante diversité de processus générateurs de l'écoulement



Débit de base



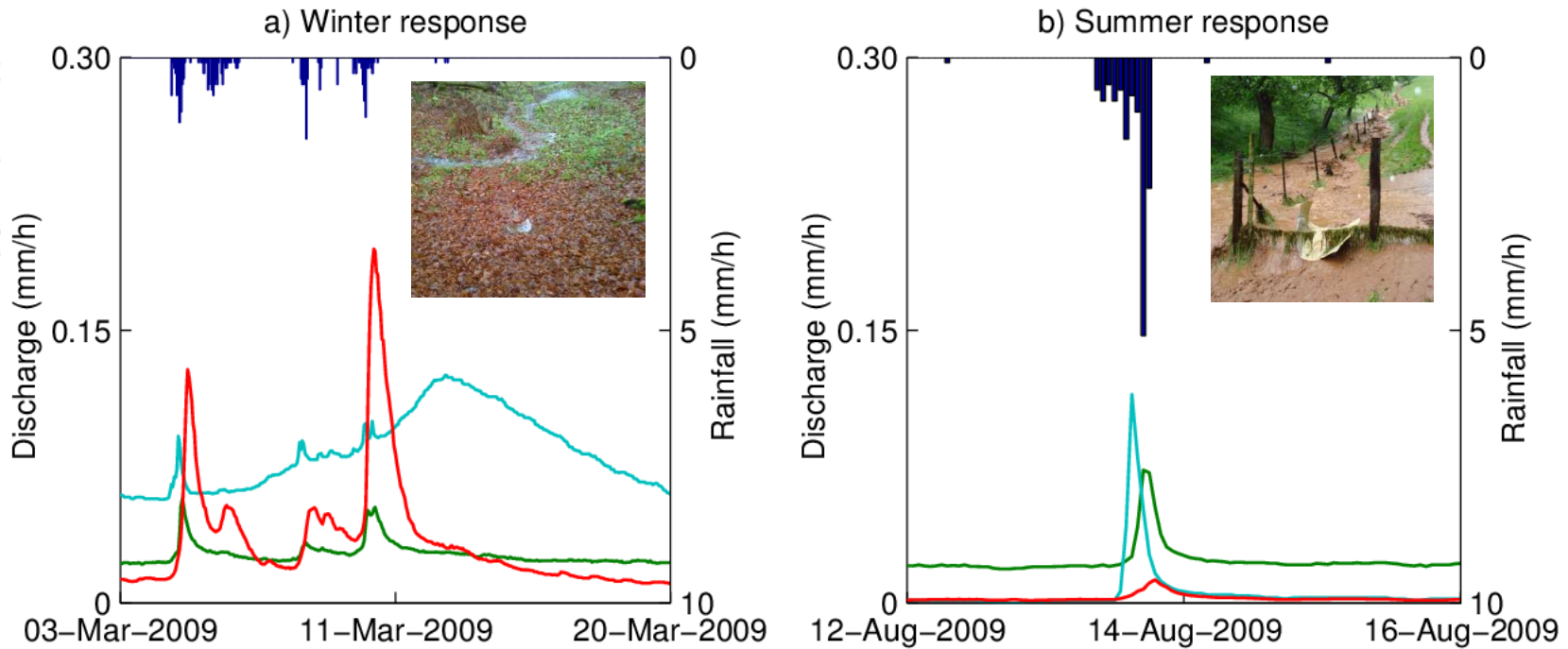
Crue

Une question fondamentale:

'Quels chemins sont empruntés par l'eau?'

Le bassin-versant: un filtre naturel

L'impressionnante diversité de processus générateurs de l'écoulement



Grès
2.7 km²



Marnes
4.5 km²



Schistes
0.45 km²



Le climat dans le bassin-versant de l'Alzette

Précipitations

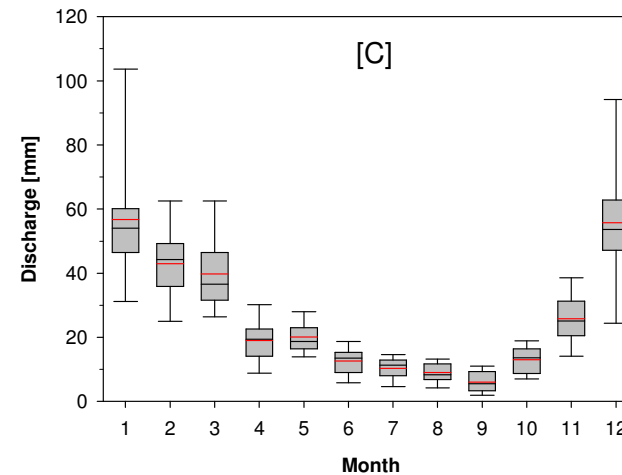
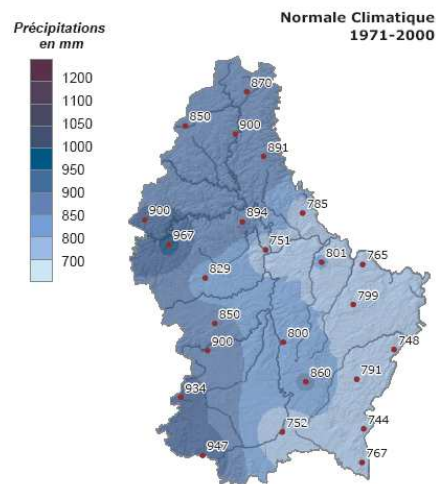
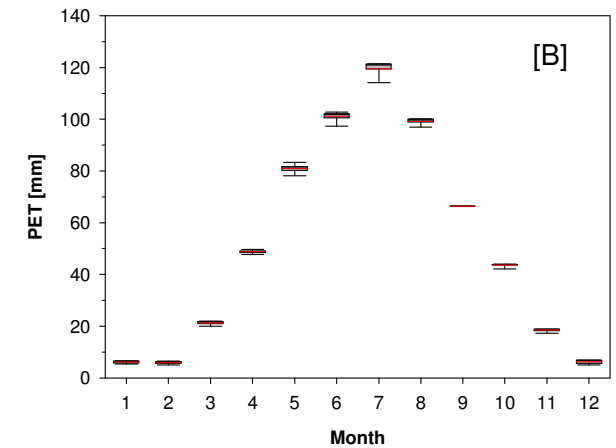
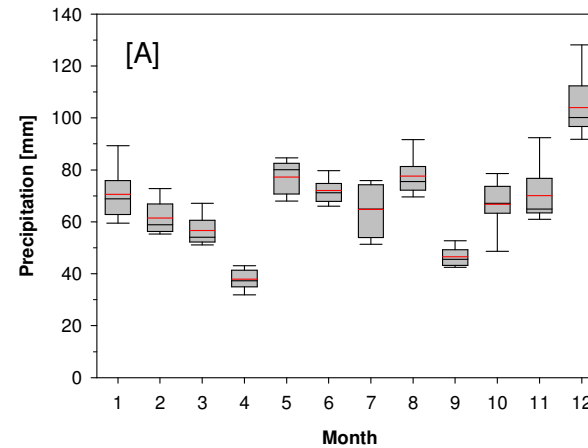
- Total annuel variant de 800 à 1100 mm
- Pas de saisonnalité

Evapotranspiration potentielle

- Forte saisonnalité

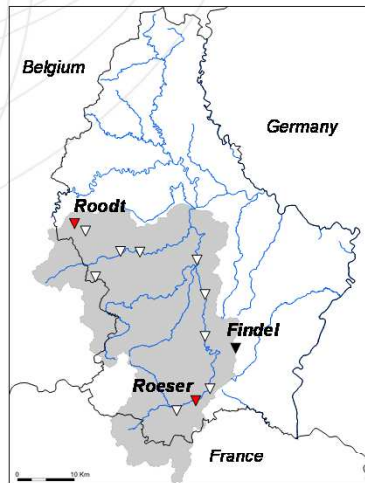
Débits

- Forte saisonnalité

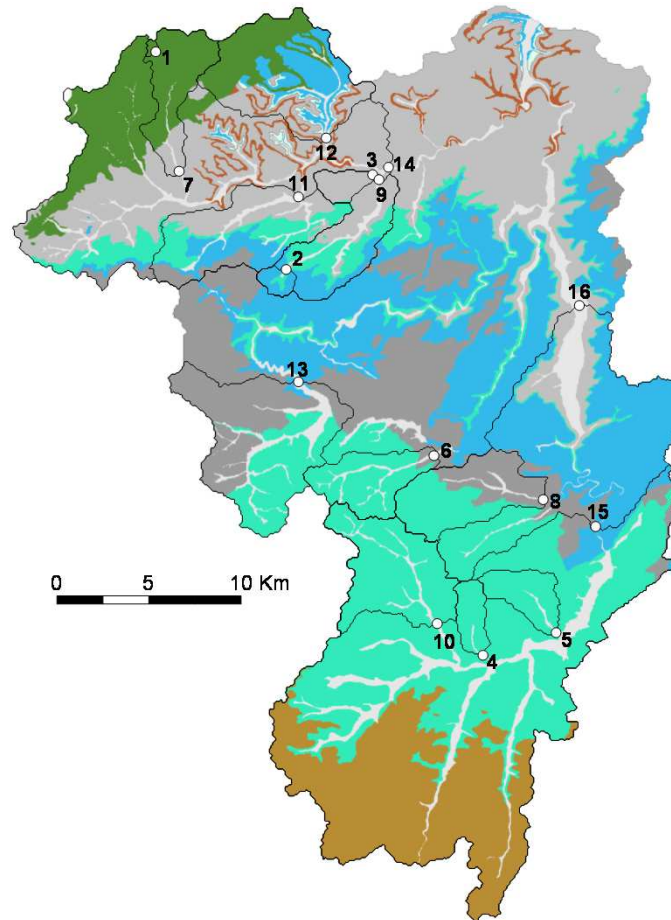


Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques



-  alluvial deposits
-  limestone
-  sandstone
-  poly-lithological facies 1
-  poly-lithological facies 2
-  dolomite
-  marls
-  schists

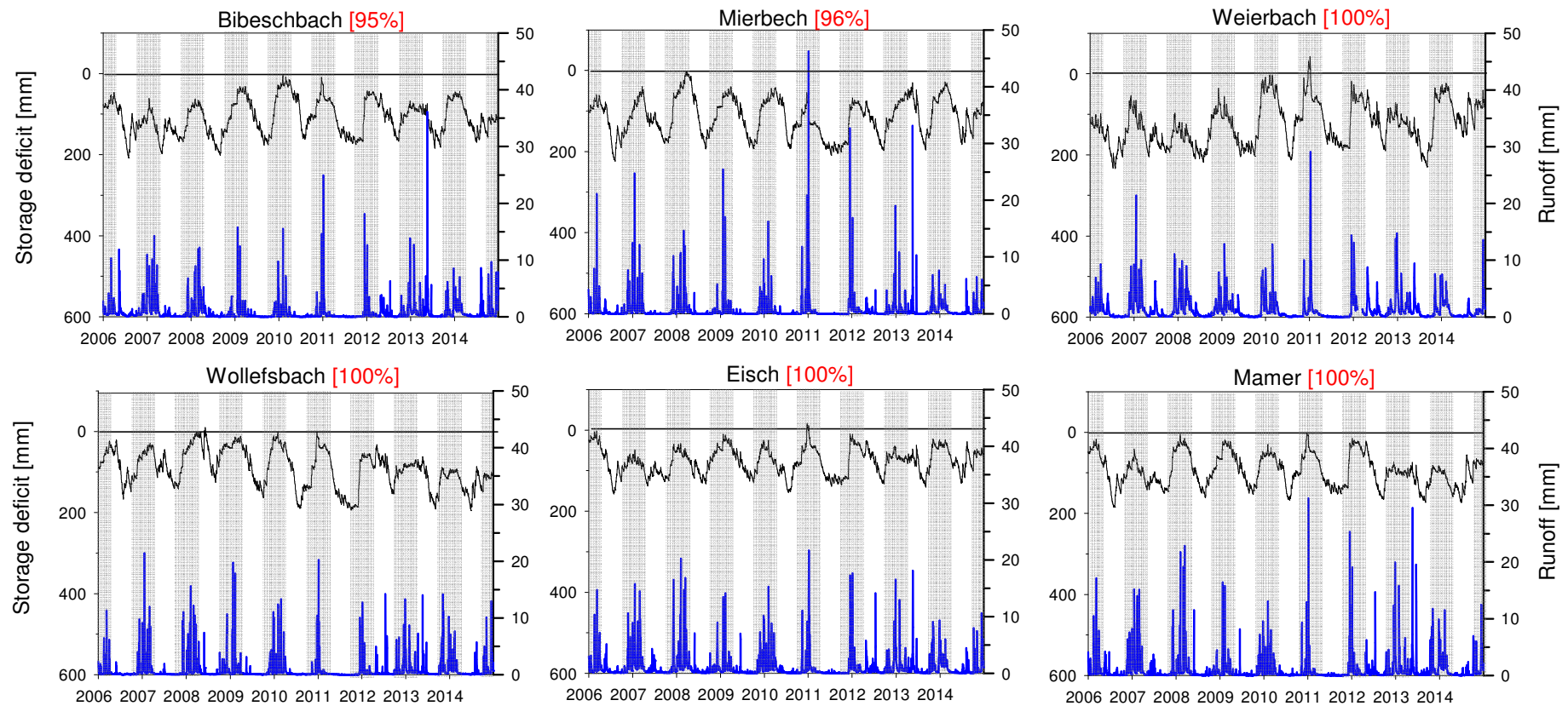


Catchment name	
1	Weierbach [*]
2	Huewelerbach [*]
3	Wollefsbach [*]
4	Mierbech [*]
5	Bibeschbach [*]
6	Mamer
7	Colpach [*]
8	Ruisseau de Merl
9	Schwebich [*]
10	Mess [*]
11	Pall [*]
12	Roudbach [*]
13	Eisch
14	Attert – Useldange [*]
15	Alzette – Hesperange
16	Alzette – Hunsdorf

Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques

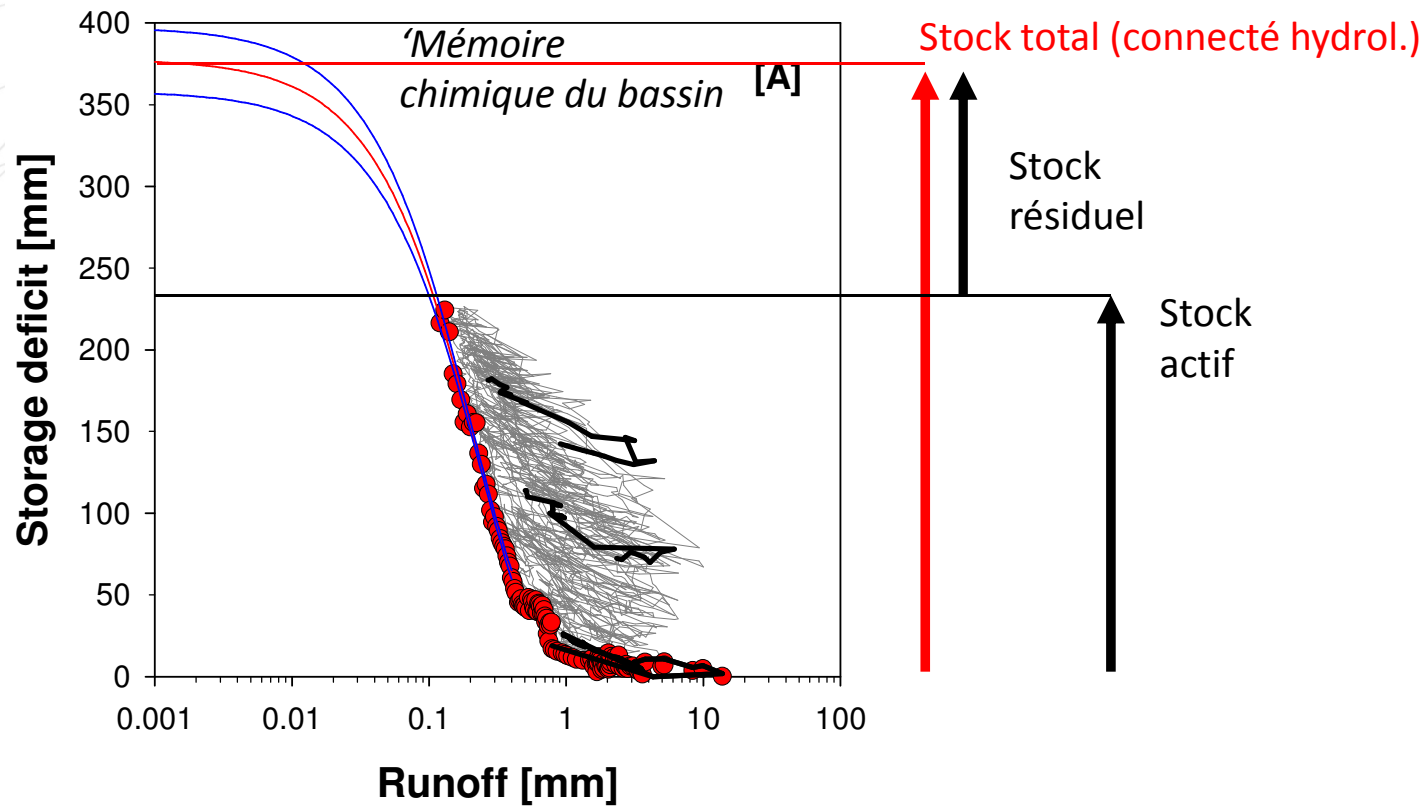
Bilan hydrologique ($S_t = P - Q - ET + / - S_{t-1}$)



Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques

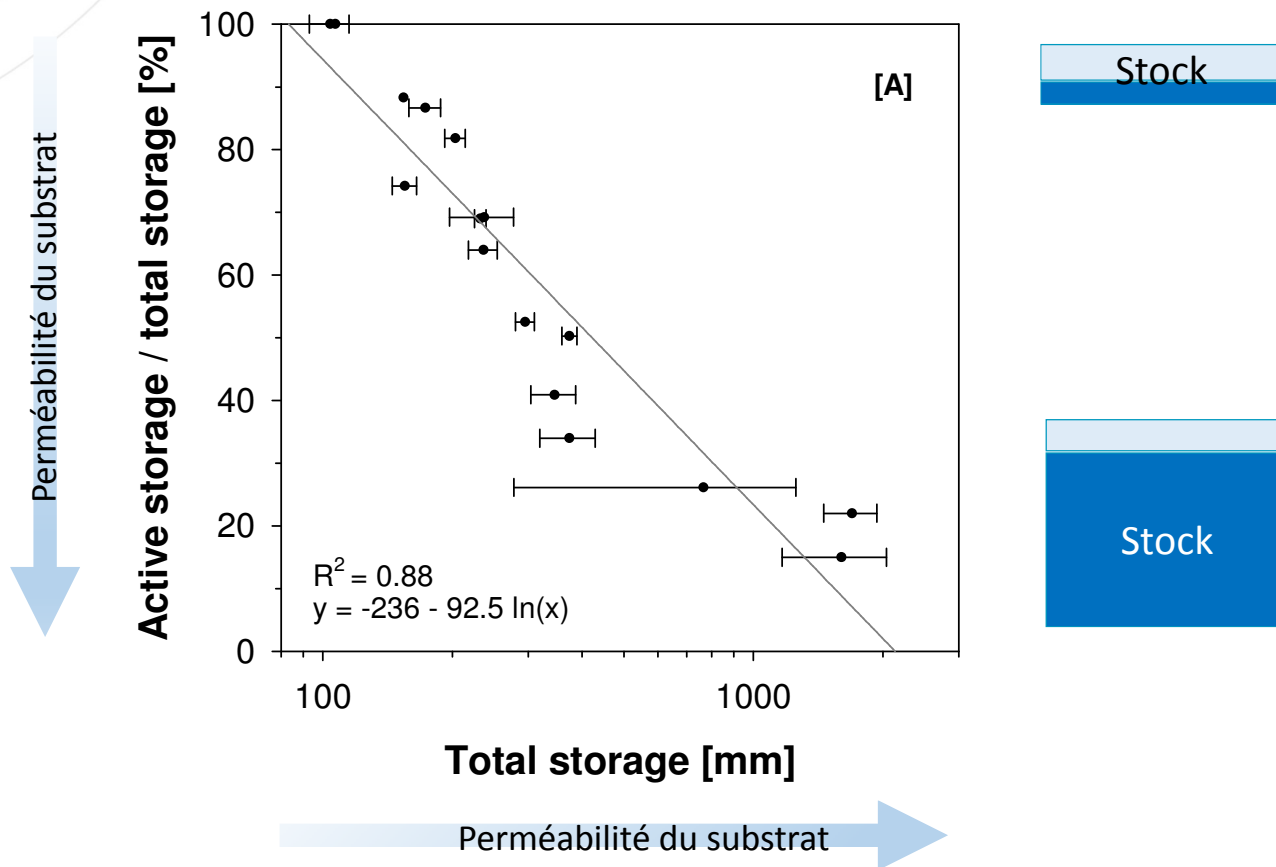
Stock total, actif & passif



Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques

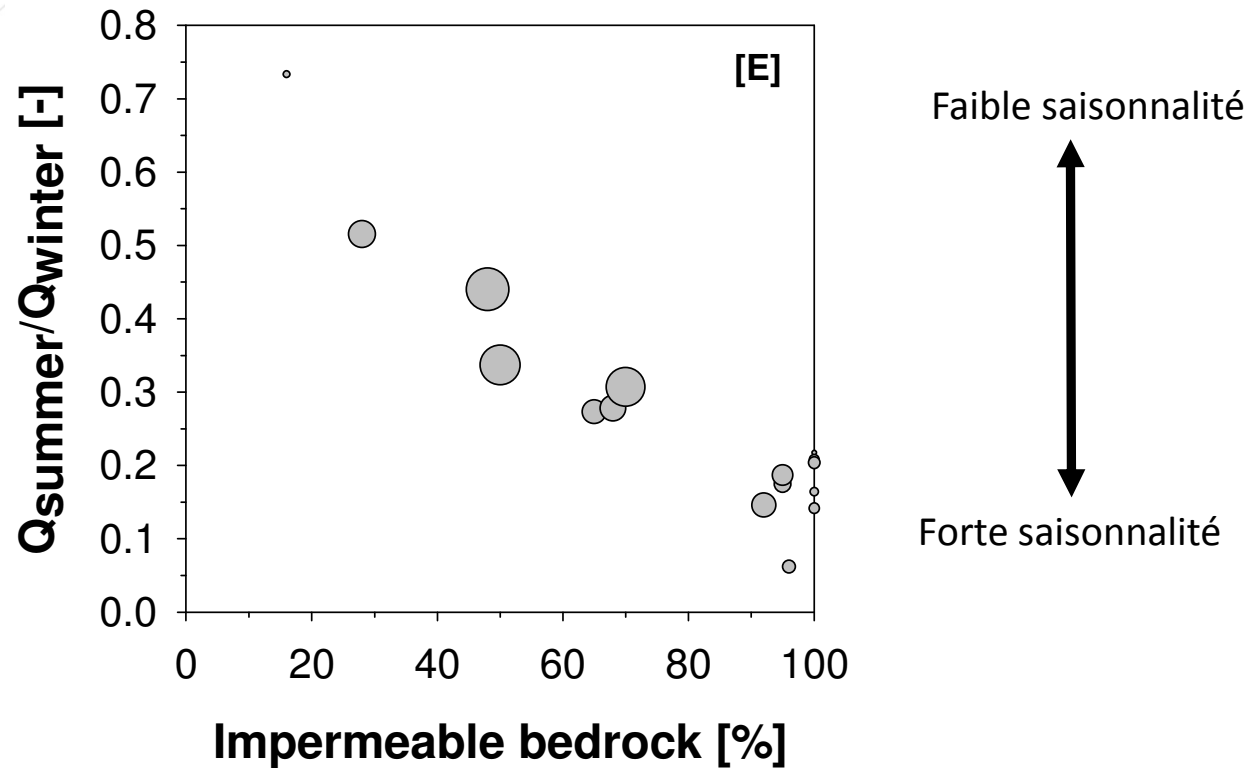
Stock total, actif & passif



Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques

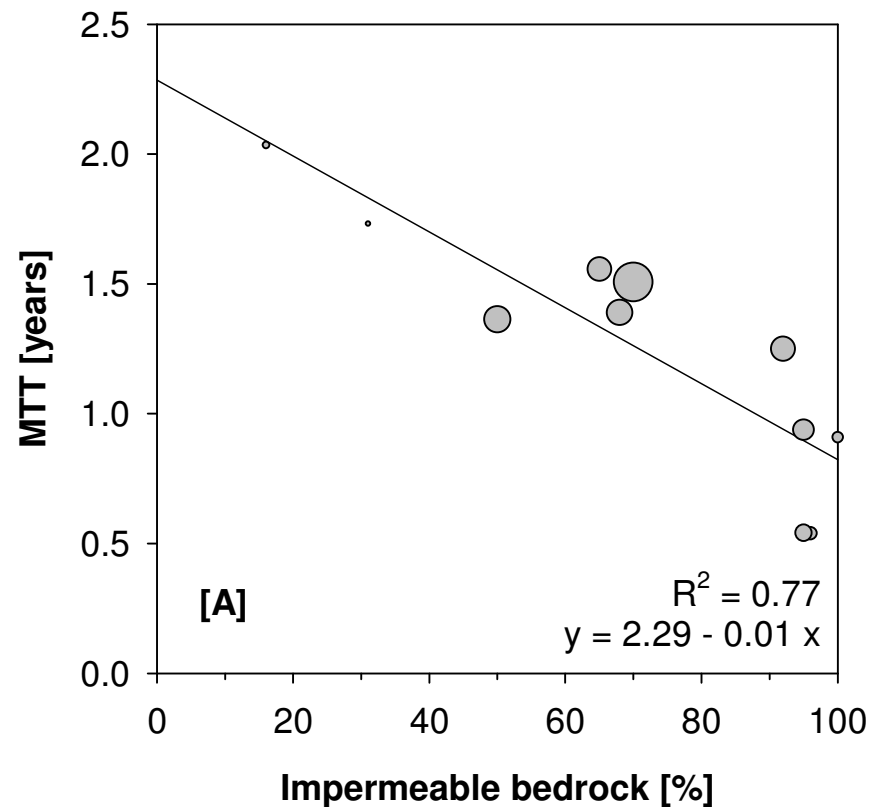
Contrôle du substrat géologique sur le régime hydrologique



Le bassin-versant: un filtre naturel – l'exemple de l'Alzette

Influence du substrat géologique sur les fonctions hydrologiques

Contrôle du substrat géologique sur le temps de résidence moyen



Variabilité & changement climatique

Observations

Echelle locale: données proxy

Chroniques de
qualité & quantité
de vin dans la vallée
de la Moselle

LUXEMBURGER WEINCHRONIK 809-1904							
Aufgestellt durch die Großherzogliche Weinbau-Kommission in Grevenmacher							
Jahr	Quantität	Qualität	Witterung	Jahr	Quantität	Qualität	Witterung
809	völliger	Milwachs	anhaltender Regen und kalt dabei.	1217	viel	gut	sehr heiß.
820		hart und sauer	strenger Winter; Reben verdoeben.	1232	sehr viel	mittelm.	kalter Winter, heißer Sommer.
860			gutes Weinjahr.	1237	wenig		nicht sehr günstiger Sommer.
882	viel	gut	heißes Jahr.	1254			Mitjahr.
993	und gut		heißer Sommer u. kalter Winter.	1255	viel	schlecht	wohlfeile Zeit.
994			heiß und trocken.	1259		gut	trocken.
1000	viel und	schlecht	Sommer kalt und regnerisch. Trauben nicht reif.	1270		ebenso	ebenso.
1043	wenig und		gar kein Wein geraten.	1271	viel	gut	
1044			kalter Winter bis März; Mitjahr.	1272	wenig	schlecht	Mitjahr.
1048			sehr kalter Winter; Reben erfroren.	1273		gut	
1056			Weinberge erfroren.	1274		schlecht	vom Mai bis Herbst anhaltender Regen.
1063			strenger, kalter Winter; viele Stücke erfroren.	1275			heiß, im August schon reife Trauben.
1077			strenger Winter; Weinberge erfroren.	1276	wenig	gut	am 16. und 18. Mai Schnee und sehr kalt; Sommer gut, wohlfeile Zeit.
1115	gut		heiß.	1279	wenig	gut	fruchtbares Jahr.
1125	schlecht		fruchtbares Jahr.	1280	viel		kalt, in Bayern fiel am 17. Juli viel Schnee, am 13. Mai in Stuttgart Reben erfroren.
1130	viel	gut	Fehljahr, häufig Regen, Trauben halbreif.	1283	wenig		
1151	sehr viel	gut	wohlfeile Zeit, geringer Wein, wurde verschenkt.	1284	viel	gut	gölder Winter, im Mai Reben erfroren.
1152			Sommer außerordentlich heiß und trocken.	1288	nichts		am Weihnachtsen trieben die Bäume, im April blühten die Trauben, Anfang Mai Frost und Schnee; vieles erfroren.
1158	viel	gut	wohlfeile Zeit.	1289	mittelm.	mittelm.	
1180	wohlfeile Zeit.	1290	viel	gut	
1181	viel	..	im Januar blühten die Bäume, im August Weinlese.	1295	sehr viel		
1183	viel	..	kalt bis in den Juni, am 17. Mai noch Schnee.	1297	viel	mittelm.	häufige Gewitter.
1186			strenger Winter; Wein erfroren.	1303	..	sehr gut	sehr warmer, trockener Sommer.
1187	wenig	schlecht		1310			Begann eine 18jährige Tenerung, die bloß durch zwei fruchtbare Jahre unterbrochen wurde.
1191	viel	gut					
1210							

Number of notations in the different centuries concerning vintage quality and quantity in the Luxembourgish wine chronicle 809-1904 (ANONYMOUS 1937)

Time frame	Number of notations	
	Quality	Quantity
809-899	2	2
900-999	1	2
1000-1099	2	2
1100-1199	11	9
1200-1299	15	16
1300-1399	23	20
1400-1499	41	40
1500-1599	71	71
1600-1699	80	51
1700-1799	83	18
1800-1899	93	64
1900-1904	5	5
Total	427	300

Variabilité & changement climatique

Observations

Echelle locale: données proxy

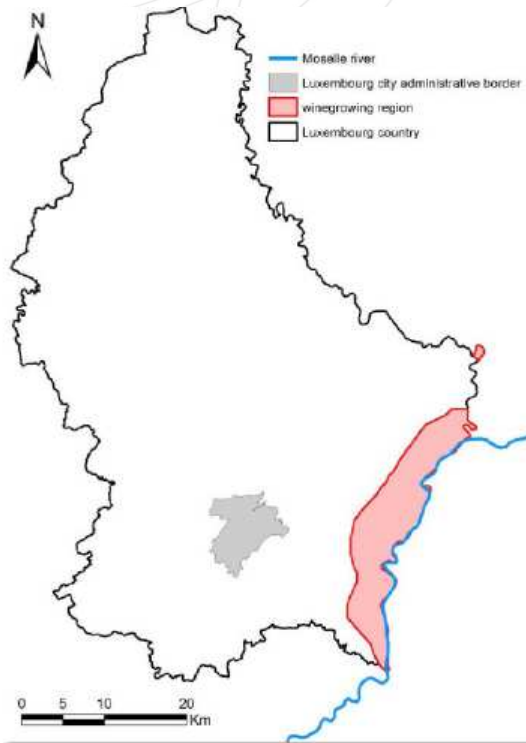


Fig. 2: Map of the present expansion of the Luxembourgish winegrowing region and the administrative borders of Luxembourg-City, the location of the temperature observations of François Reuter.

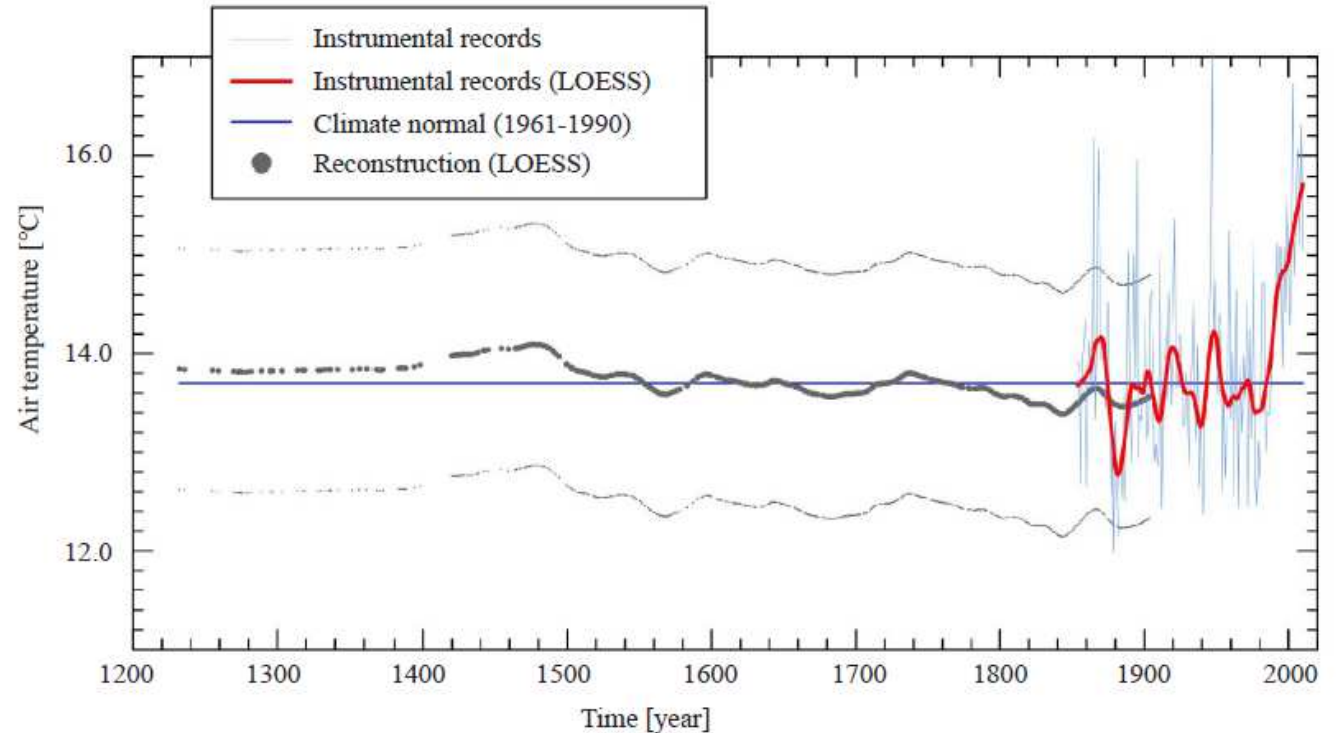
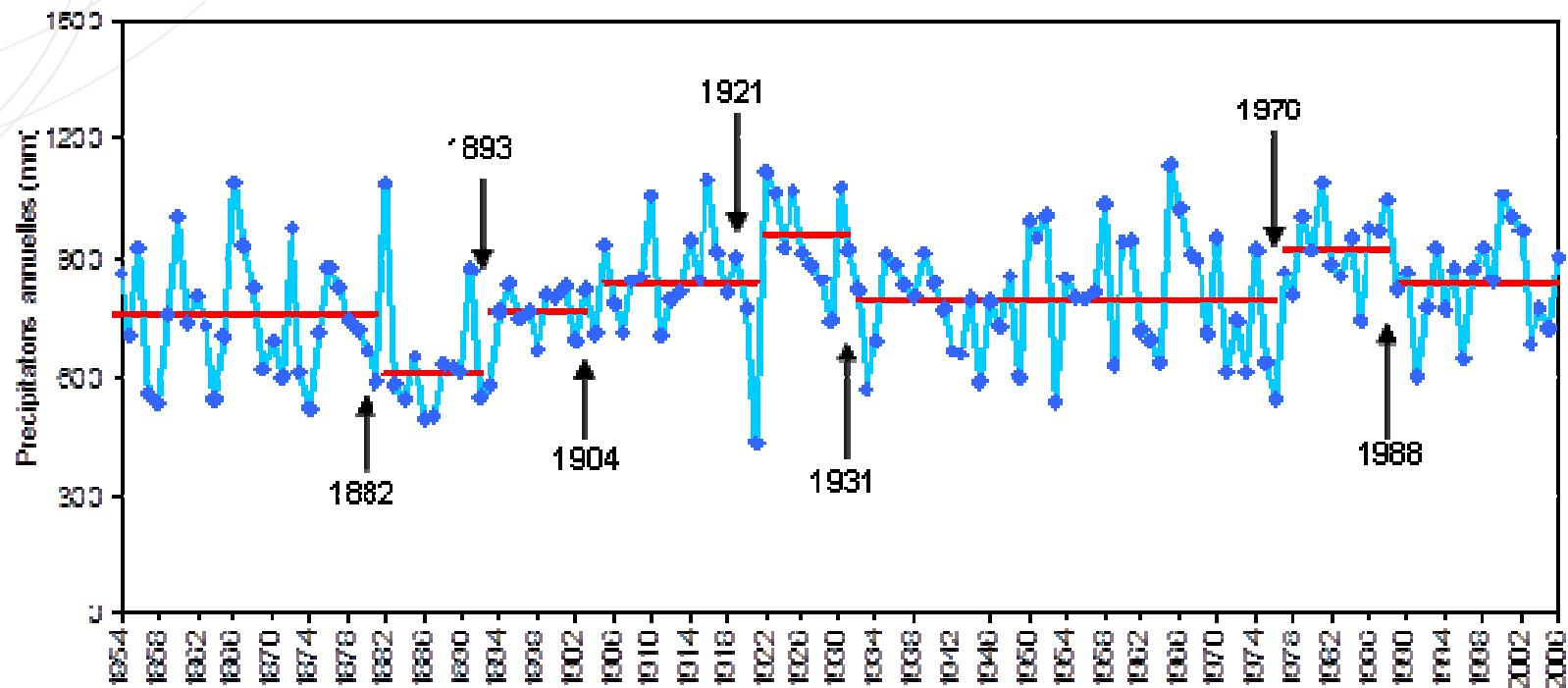


Fig. 4: Average April to September air temperatures in the time frame 1200 to 2010. Continuous lines represent instrumental records (light blue), LOESS smoothed instrumental records (smoothing factor: 0.1) (red) and climate normal conditions (1961-1990) (dark blue line) according to the homogenized monthly temperature data set for Luxembourg-City. Dark dots indicate LOESS smoothed curves (smoothing factor: 0.1) of temperature reconstructions based on wine quality notations (bold dots) as well as the respective 95 % confidence band (small dots).

Variabilité & changement climatique

Observations

Echelle locale: precipitations à Luxembourg-ville



Points de rupture dans la série de précipitations annuelles homogénéisées à Luxembourg-ville (1854-2006)

Variabilité & changement climatique

Observations

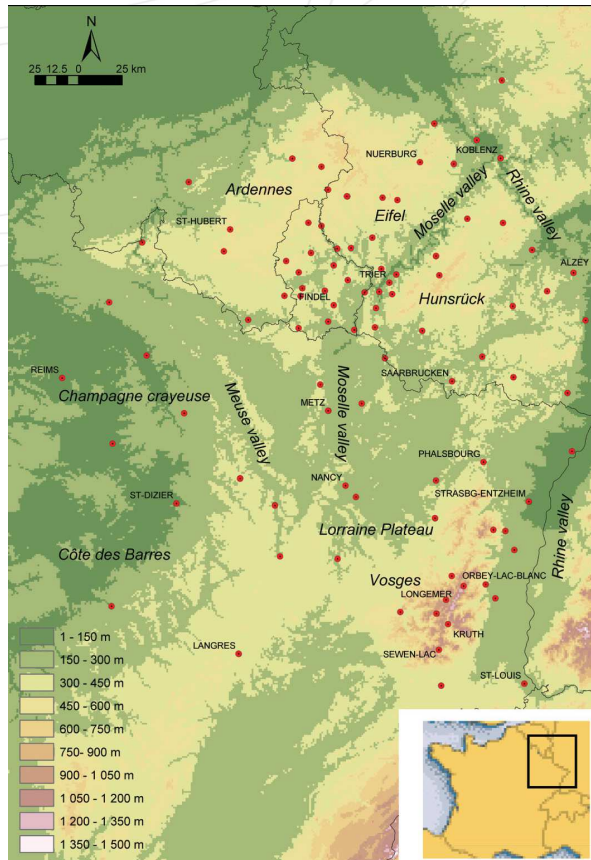
Echelle locale: precipitations à Luxembourg-ville

RUPTURES	IDENTIFICATIONS
1882	Année humide (Lahr, 1964)
1893	Année sèche (Lahr, 1964)
1904	Année sèche : été caniculaire
1921	Année sèche (Lahr, 1964)
1931 (1932*)	Transition entre une période humide et une période sèche : rupture liée à l'année 1933 qui est une année extrêmement sèche (Lahr, 1964)
1976 (1978*)	Année sèche
1988	Année humide : évapotranspiration faible (températures basses)

Variabilité & changement climatique

Observations

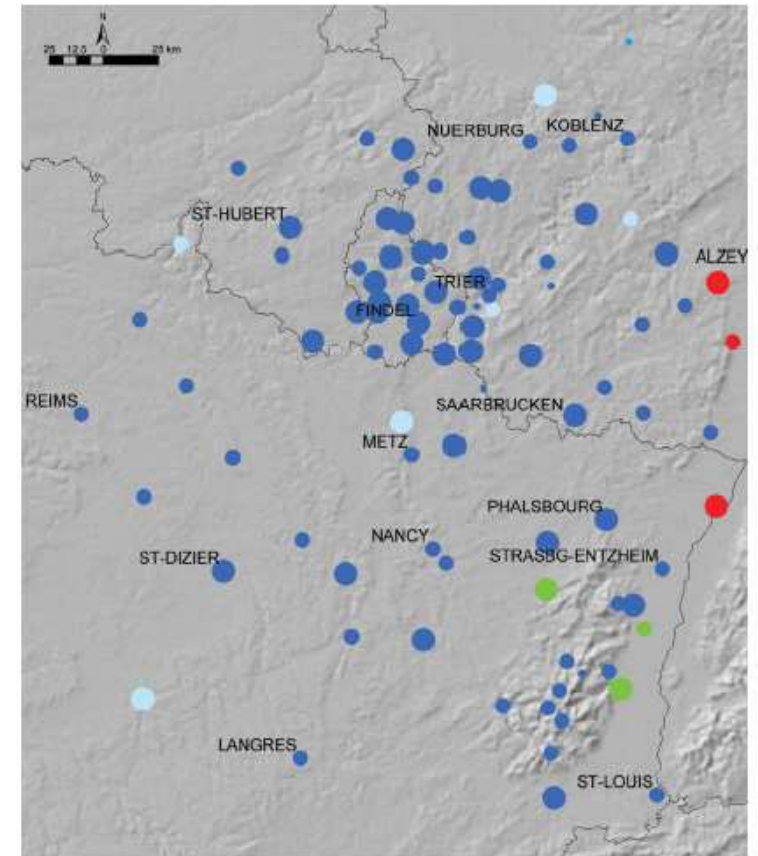
Echelle locale: pluies hivernales



LIST.lu

Zone d'étude et réseau de stations pluviométriques

Valeurs du Tau de Kendall et années de changement selon test de Mann-Whitney-Pettitt pour 95 séries de pluies hivernales par flux atmosphériques de secteur Ouest. Valeur critique du Tau de Kendall pour rejet de l'hypothèse nulle à 0.05 de niveau de probabilité est de 1.66.



Kendall's tau values

- 1.8 - 2.4
- 2.5 - 3.1
- 3.2 - 3.7

- year of change : 1964
- year of change : 1973
- year of change : 1977
- year of change : 1978
- year of change : 1979

Drogue G., Wagner C., Mahr N., Hoffmann L., Pfister L., 2006 : 'Topography and recent winter rainfall regime change in temperate western european areas: a case study in the Rhine-Meuse basin'. International Journal of Climatology, 26 : 785-796.

Variabilité & changement climatique

Observations

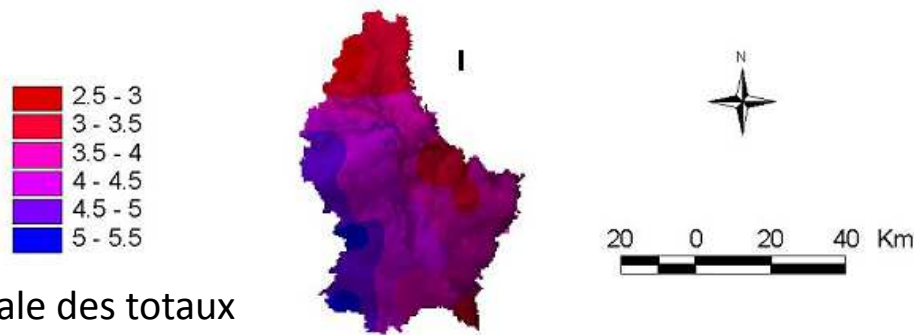
Echelle locale: lien entre pluies hivernales & débits de l'Alzette

Variabilité interannuelle dans les précipitations et débits

- Pluie annuelle contrôlant débits annuels, hivernaux et estivaux

Pluie hivernale

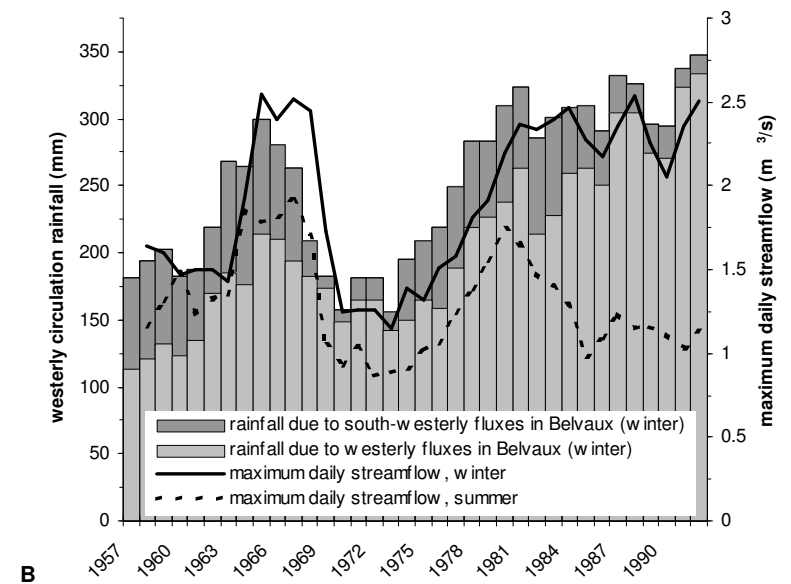
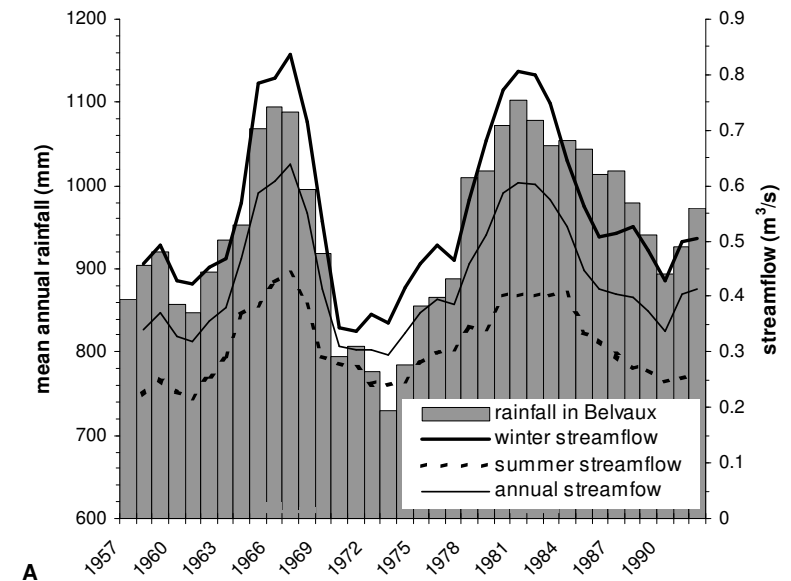
- Contrôlée par les flux atmosphériques de secteur Ouest
- Contrôle les débits maximums hivernaux



Variabilité spatiale des totaux pluviométriques hivernaux par flux atmosphériques de secteur Ouest

Pfister L., Humbert J., Hoffmann L., 2000 : 'Recent trends in rainfall-runoff characteristics in the Alzette river basin, Luxembourg'. Climatic Change, 45 : 323-337.

Pfister L., Drogue G., El Idrissi A., Iffy J.-F., Poirier C., Hoffmann L., 2004 : 'Spatial variability of trends in the rainfall-runoff relationship: A mesoscale study in the Mosel basin'. Climatic Change, 66 : 66-87.



Variabilité & changement climatique

Evolutions futures

Modèles climatiques

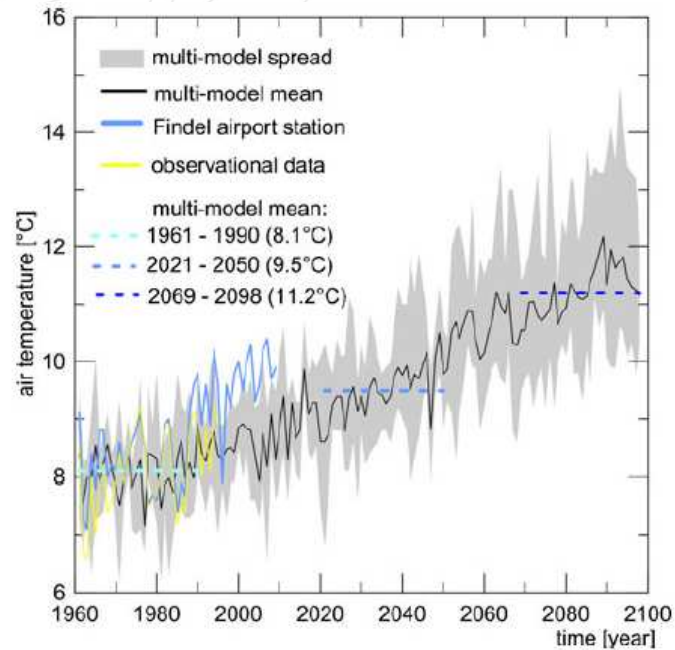
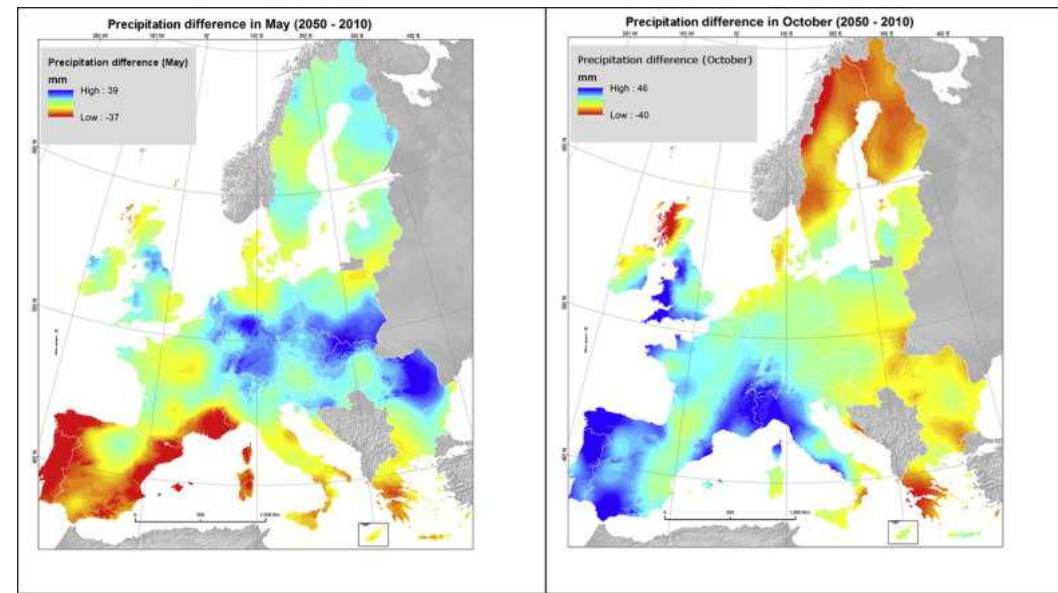


Fig. 2 Time series of annual mean air temperature. *Black line*: multi-model mean ($N=6$ RCMs); long-term annual mean 1961 to 1990=8.1 °C. *Grey shading*: multi-model bandwidth (minimum, maximum). *Yellow line*: CHR-OBS reference dataset; long-term annual mean 1961 to 1990=8.1 °C. *Blue line*: Findel airport SYNOP station; long-term annual mean 1961 to 1990=8.3 °C. *Blue dashed horizontal lines*: multi model means for the three 30-year analyses time spans



Panagos P., Ballabio C., Meusburger K., Spinoni J., Alewell C., Borrelli P. 2017. Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on REDES and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology* 548: 251-262.

Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

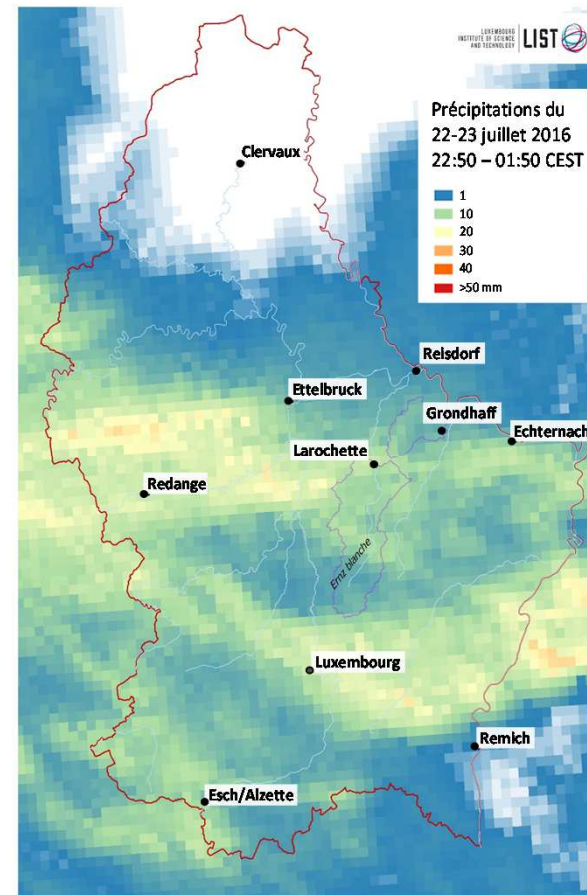
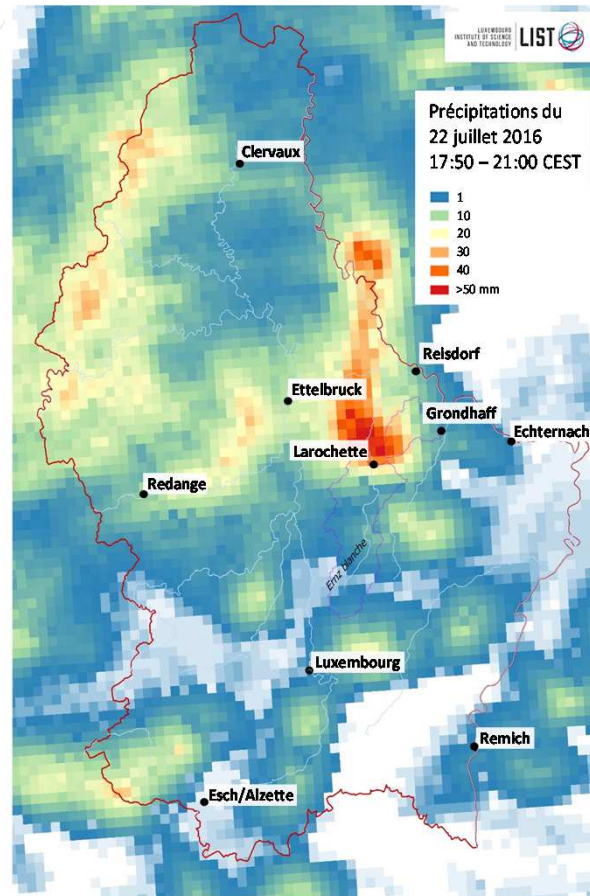
L'exemple de la crue éclair de l'Ernz Blanche durant l'été 2016



Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

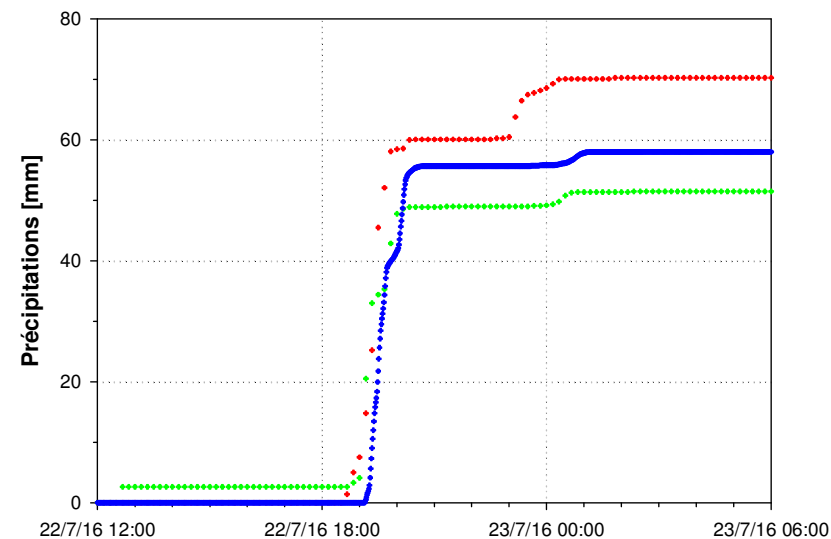
Crue éclair de 2016: images radar du 22 & 23 juillet 2016



Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

Crue éclair de 2016: observations pluviométriques du 22 & 23 juillet 2016



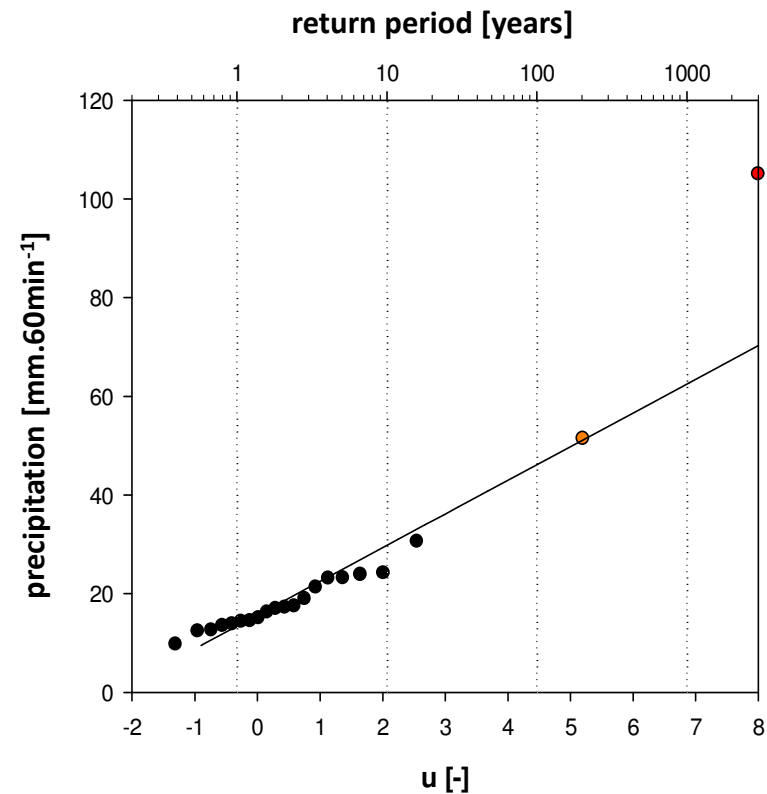
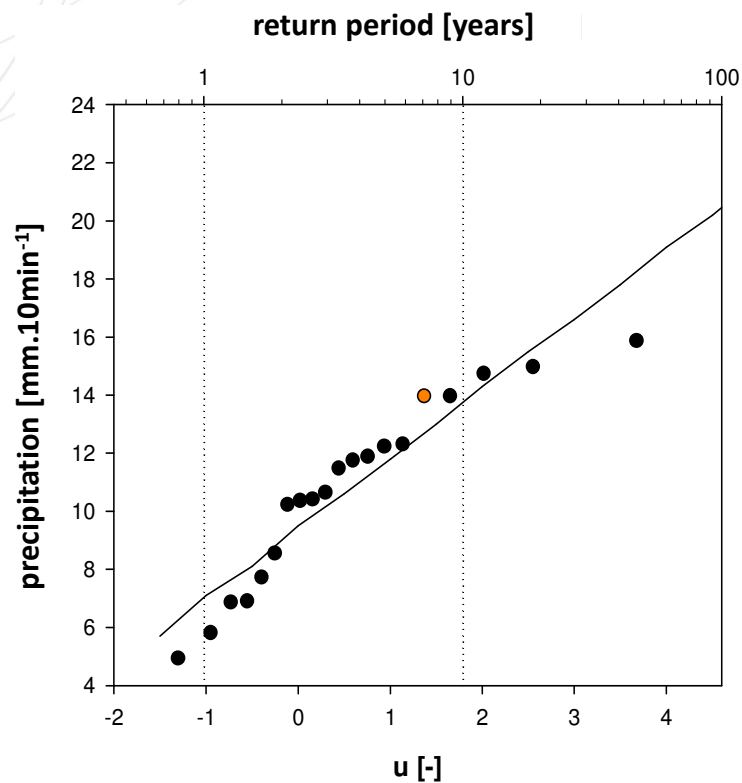
	10 minutes	60 minutes	360 minutes
Radars			
Radars max	22.5	57.2	77.6
Pluviographe Christnach	20.3	53.1	77.6
Radars Christnach	9.6	31.0	46.3
Pluviographe Christnach	2.11	1.71	1.51
Radars Christnach	2.11	1.71	1.51
Radars Bettendorf			
Pluviographe Bettendorf	16.4	43.7	48.7
Radars Bettendorf	10.5	30.3	35.4
Pluviographe Bettendorf	1.56	1.44	1.38
Radars Bettendorf	1.56	1.44	1.38

Sous-estimation systématique par le radar météorologique

Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

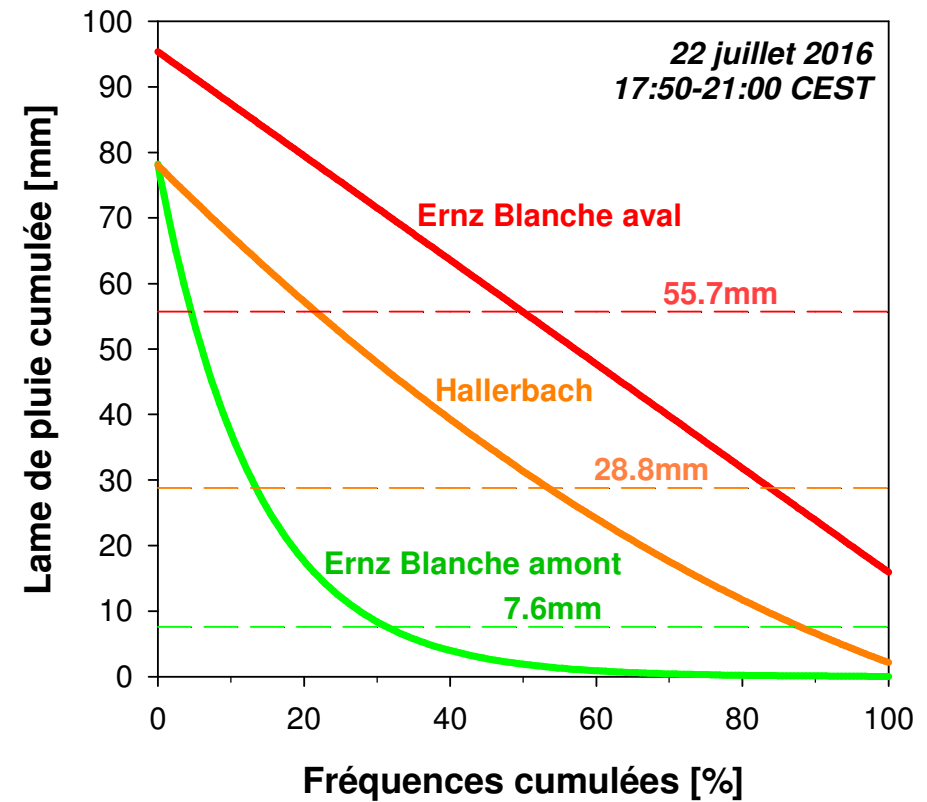
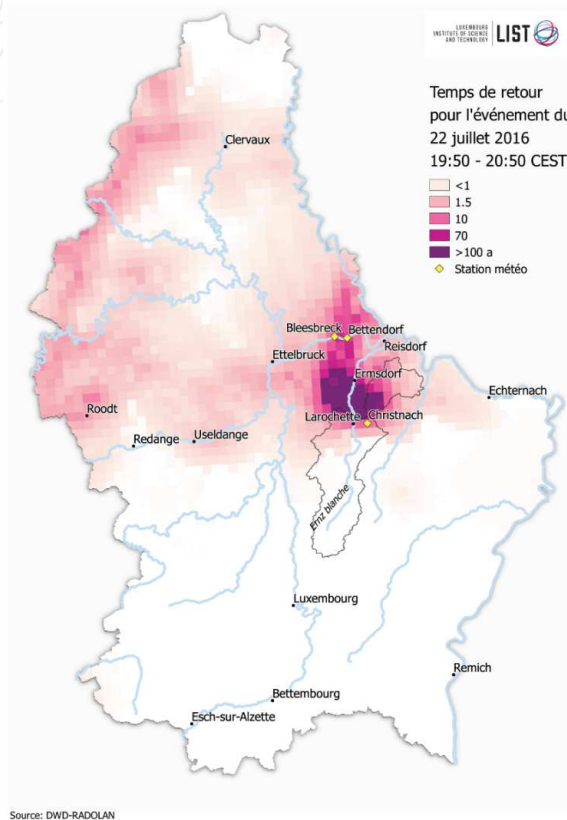
Pluviométrie: périodes de retour



Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

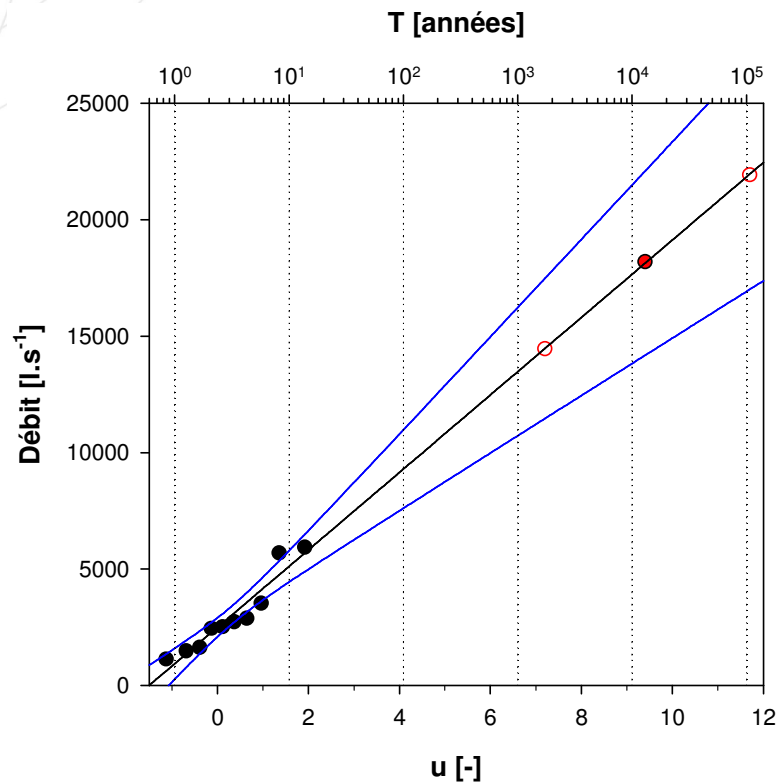
Pluviométrie: périodes de retour



Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Les défis posés par la non-stationnarité

Débits: périodes de retour



Incertitudes liées à:

- Longueur limitée des séries de données
- Difficultés à mesurer des débits extrêmes
- Non-stationnarité!

Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Hydrologie: limitations technologiques

Outils actuels

Paramètres météorologiques



Eaux de surface



Charact. de subsurface



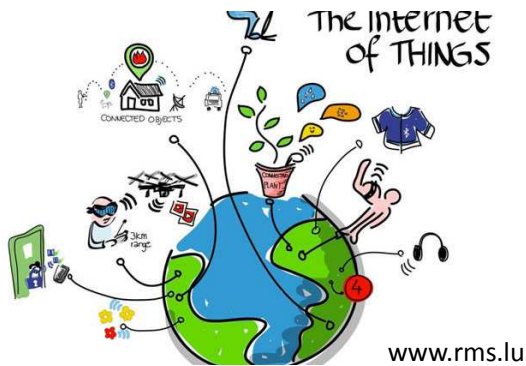
Traceurs



Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Hydrologie: limitations technologiques

Mesures à haute résolution spatiale & temporelle



LPWAN

Low-Power Wide-Area Networks

Capteurs/senseurs hydro-météorologiques connectés au réseaux LPWAN

Cette technologie permettrait le déploiement de stations météorologiques et limnigraphes à une résolution spatiale et temporelle inégalée – une contrainte majeure dans l'observation et la gestion des crues éclair.

Prévisions hydrologiques dans un contexte de changement global

Hydrologie: limitations technologiques

Exploration de nouvelles sources de données historiques

Received 8 December 2017 | Accepted 11 June 2018
DOI: 10.1002/hyp.2907

RESEARCH ARTICLE

WILEY

Freshwater pearl mussels as a stream water stable isotope recorder

Laurent Pfister^{1,2} | Frank Thielen⁴ | Etienne Delouis⁵ | Nathalie Valle² | Esther Lentzen⁶ | Cléa Grave⁸ | Jean-Nicolas Beisel^{6,7} | Jeffrey J. McDonnell^{8,9}

¹Department of Environmental Research and Innovation, Luxembourg Institute of Science and Technology, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

²Department of Materials Research and Technology, Luxembourg Institute of Science and Technology, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

³Faculty of Science, Technology and Communication, University of Luxembourg, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

⁴Natur & Umwelt-Forschungsinstitut der Universität Luxemburg, Luxembourg

⁵Université du Centre de Recherche Pédagogique et Scientifique - CRPS, Luxembourg, Luxembourg

⁶École Nationale Supérieure de l'Environnement de Strasbourg, Laboratoire Image et Environnement - CHS, Strasbourg, France

⁷Université de Strasbourg, Laboratoire Image et Environnement - CHS, Strasbourg, France

⁸Global Institute for Water Security, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada

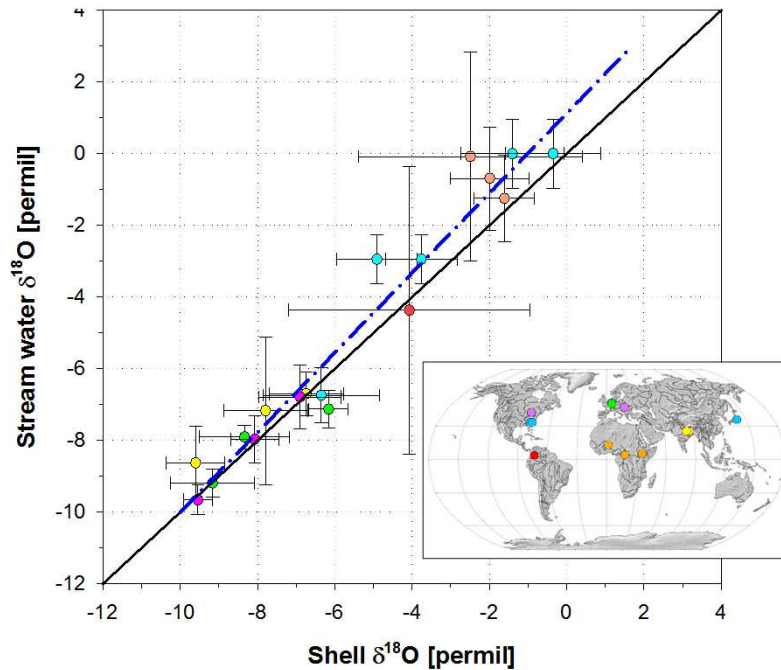
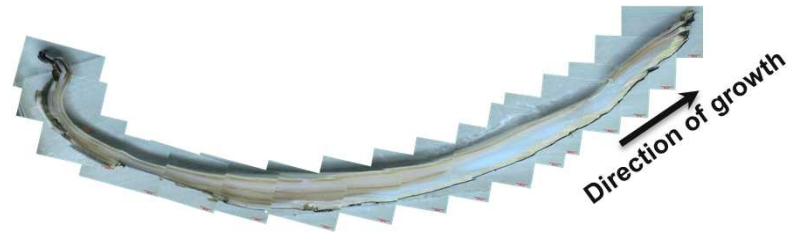
⁹School of Geography, Earth & Environmental Science, University of Birmingham, Birmingham, UK

Correspondence: Laurent Pfister, Luxembourg Institute of Science and Technology, 41 rue du BSI, Belvaux, L-1019, Luxembourg; Email: laurent.pfister@list.lu

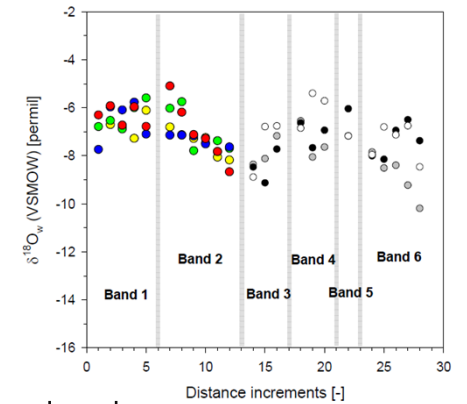
Funding information: Fonds National de la Recherche Luxembourg; Grant/Award Number: INTER-Mobility 15/16/04/04; Luxembourg Institute of Science and Technology

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made. © 2018 Luxembourg Institute of Science and Technology. Published by John Wiley & Sons Ltd

Hydrology, 2018, 11, 1–10
https://doi.org/10.1002/hyp.2907



Les moules perlières: un enregistreur de signatures isotopiques?



Remerciements

Jean François Iffly, Christine Bastian, Audrey Douinot, Daniel Göhlhausen, Renaud Hostache, Patrick Matgen, Franck Minette, Noemie Patz, Ivonne Trebs, Laurent Rapin, Jérôme Martin



GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
ADMINISTRATION DE LA GESTION DE L'EAU



Luxembourg National
Research Fund