



CARACTÉRISATION DE L'ÉCOULEMENT ET DU TRANSPORT DANS LE KARST À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT: APPLICATIONS SUR DES CAS PILOTES AU LIBAN

Joanna J. Doummar

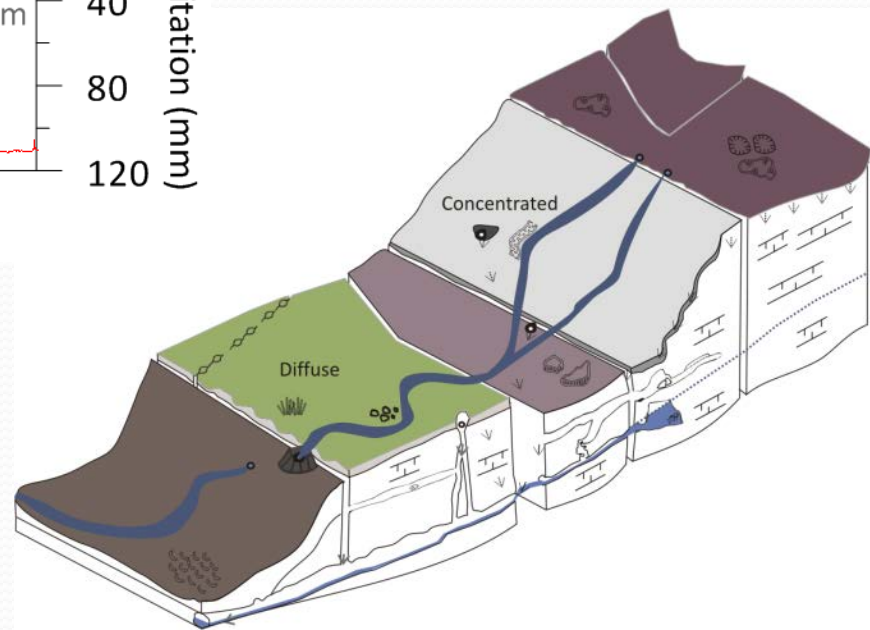
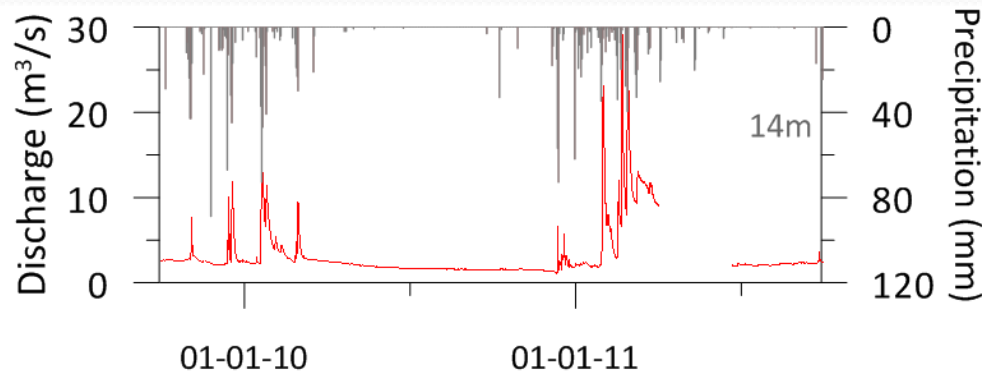
American University of Beirut- Geology Department- P.O. Box 11-0236- Riad El-Solh, Beirut 1107 2020,
E-mail: jd31@aub.edu.lb; 00961-1-35000, Ext 4165



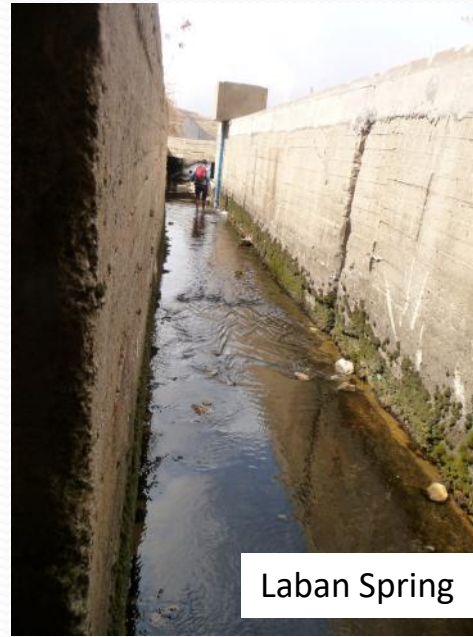
- La conceptualisation de l'écoulement et du transport des contaminants dans le karst souterrain est essentielle pour une gestion durable des ressources en eaux et pour une préservation de ces ressources à la source.

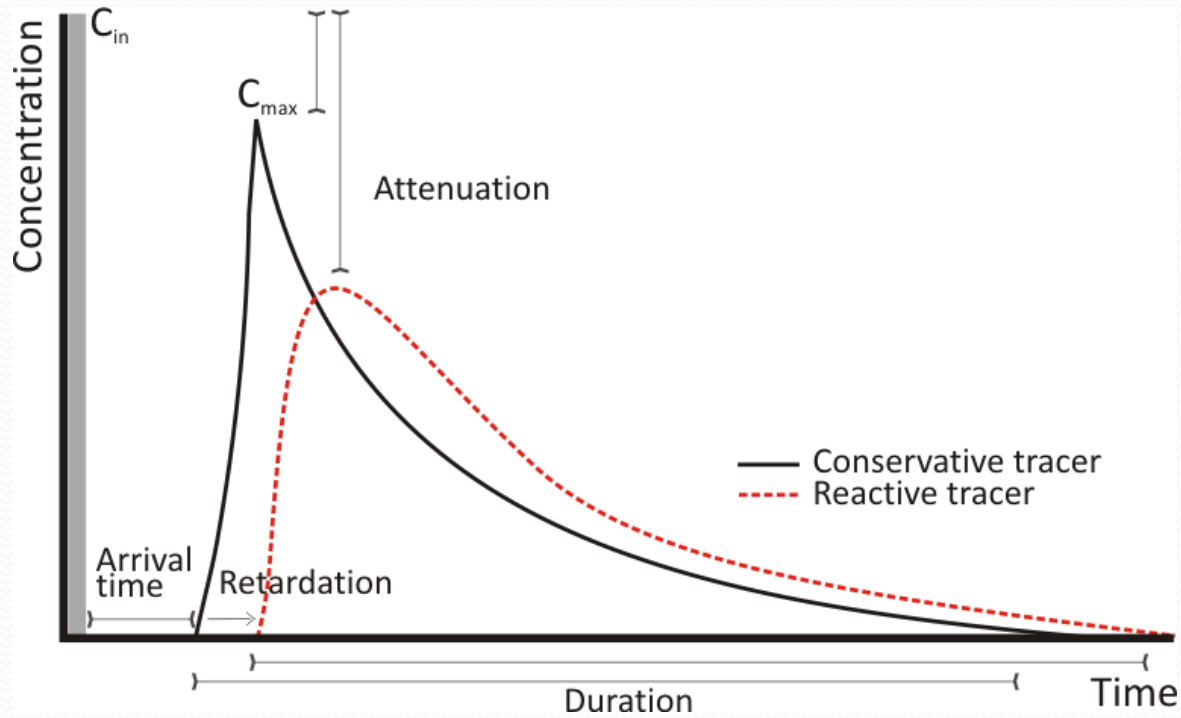
- les systèmes karstiques sont hétérogènes en termes de paramètres hydraulique et de recharge: dualité de recharge et d'écoulement
- Les temps de transit sont courts et la probabilité d'atténuation des contaminants devient relativement lente.
- La sensibilité à la contamination dépend de la géométrie souterraine de l'aquifère et du type d'infiltration et de recharge.

Une variabilité de débit très forte entre période de hautes eaux et étiage



Une variabilité de débit très forte entre les périodes de hautes eaux et périodes d'étiage





- La vulnérabilité des eaux est définie comme une sensibilité intrinsèque à la contamination
- Cette vulnérabilité dépend des processus d'écoulement et de transport
- Une investigation de ces processus nous permet de répondre à des questions comme:
 - 1) Quelle est la concentration maximale d'un polluant à la source?
 - 2) Quelle est la durée de restitution d'un polluant à la source
 - 3) En combien de temps est ce qu'un polluant peut arriver à la source?

Problématiques

1. Quels sont les limites du bassin versant d'une source?
2. Est-ce qu'il existe une relation hydrogéologique entre les sources et les rivières fortement polluées?
3. Quelles sont les vitesses de transport intrinsèques souterraines?
4. Est-ce qu'il est possible de transformer un modèle conceptuel d'écoulement en un modèle numérique pour l'utiliser dans des prédictions futures et pour la gestion durable des ressources en eaux surtout avec les conditions de changement climatique ?
5. Comment évaluer des paramètres indicatifs de contamination à la source pour une gestion appropriée des sources de pollution.

Sites d'étude

- La Source de Assal (1552 m) dans le Mont-Liban.
- L'aquifère est constitué de calcaire et dolomites fissure.
- Le débit annuel varie entre 15 et 22 Mm³. la source est utilisé pour l'approvisionnement en eaux dans le Kesrouane (24,000 m³; 0.28 m³/s).
- La source de Qachqouch (60 m) est une des ressources principales d'approvisionnement en eaux pour Beyrouth (étiage)
- Bassin versant de 56 km² dans le karst du Jurassique
- Débits minimal de 0.3 m³/s (max 17 m³/s). débit annuel de 50-60 Mm³

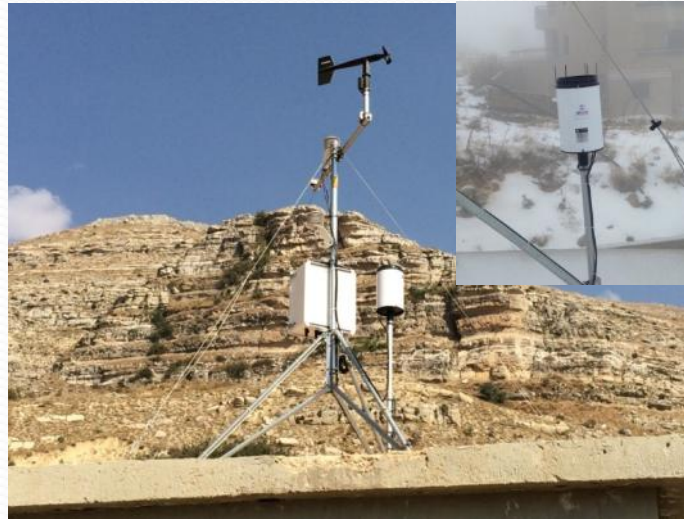


Installation d'un système d'observation

- données climatiques, physique et chimiques de l'eau et sol



Multi Paramètre (Brand-Insitu 9500 Prof.) / Niveau d'eau, Température, Chloride, pH, and conductivité électrique etc.



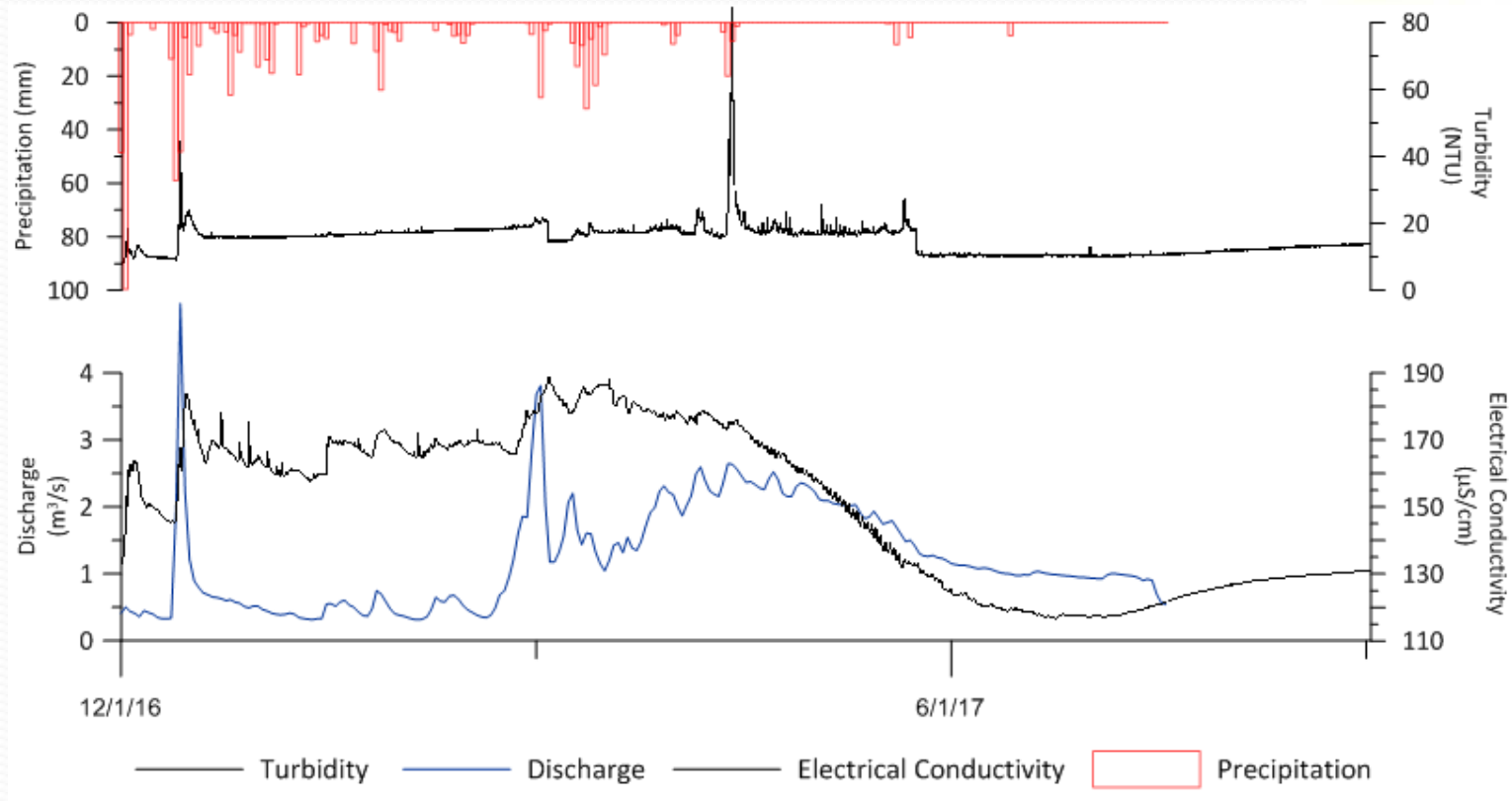
Stations climatique (Brand-Campbell et Hobo) / Humidité, Précipitation , Température, Radiation, etc. a 950m et 1600 m



Humidité du sol dans une doline

Installation d'un système d'observation

- Relation entre climat et signaux a la source (Exemple 2016-2017)



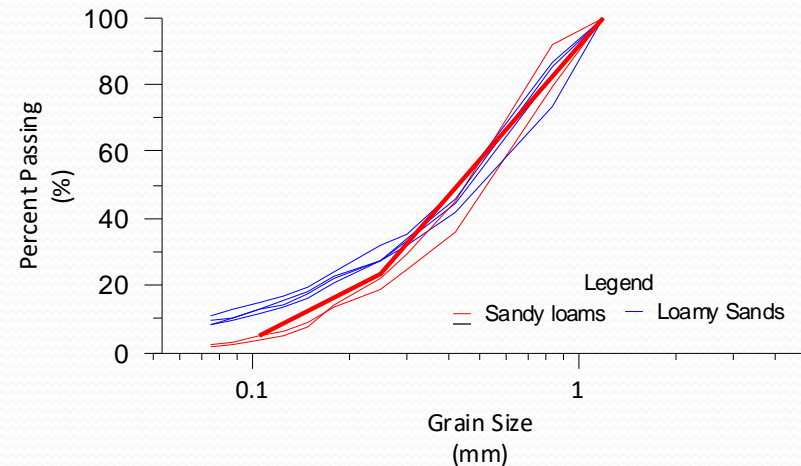
Multi Parameter probe (Brand-Insitu 9500 Prof.) / Niveau d'eau, Température, Chloride, pH, and conductivité électrique etc.

Caractérisation géologique des sites

Cartographie de la géologie et des dolines

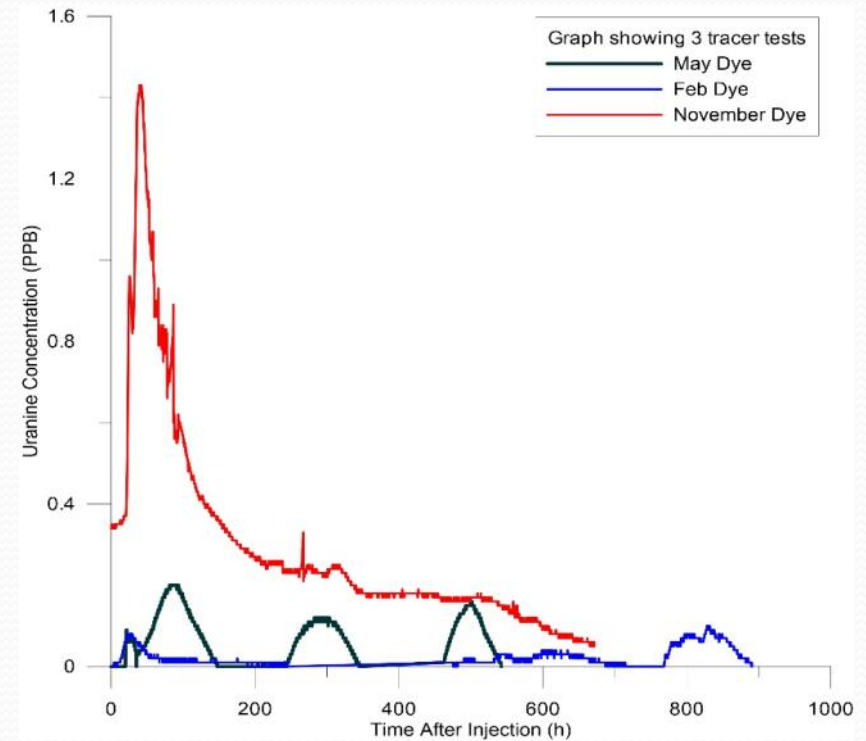


Caractérisation du type de sols et des paramètres hydrauliques non saturés



Falling Head Permeability Test	
AS8	
Diam head tube (cm)	1.4
Sample diam (cm)	6.5
Initial head (h ₀ , cm)	60
Final head (h, cm)	1
Time (s)	16900
Sample height L (cm)	13
K (cm/s)	2.01E-04
K (m/s)	2.01E-06

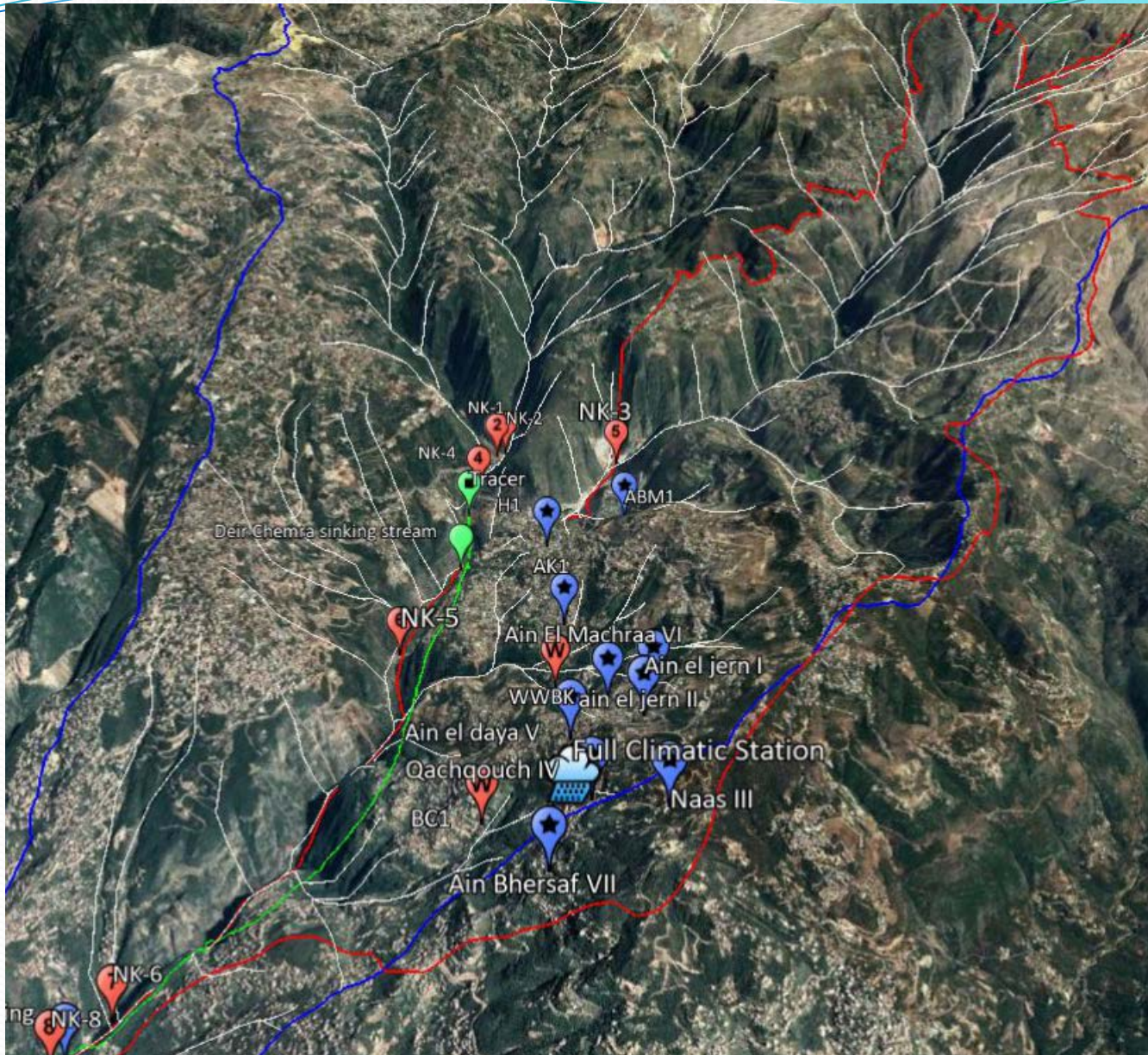
Essai de traçage = vitesse de transport et autre paramètres de transport



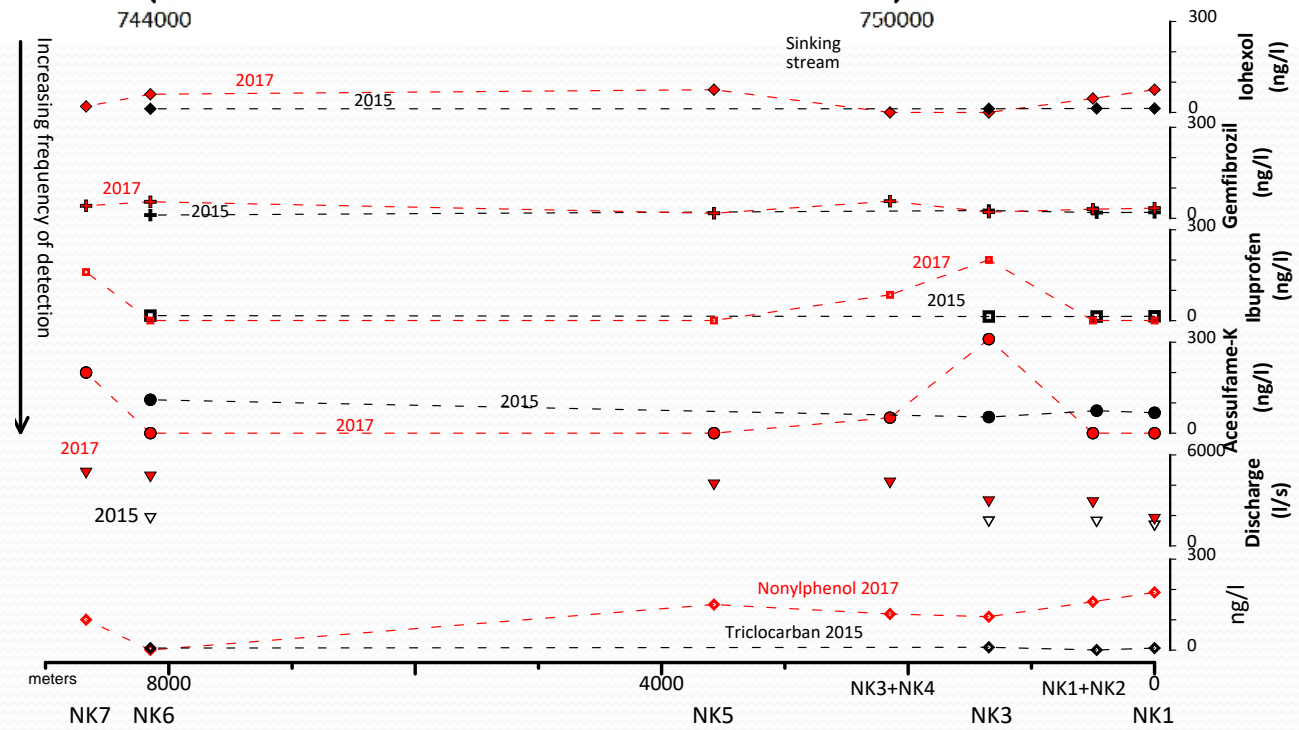
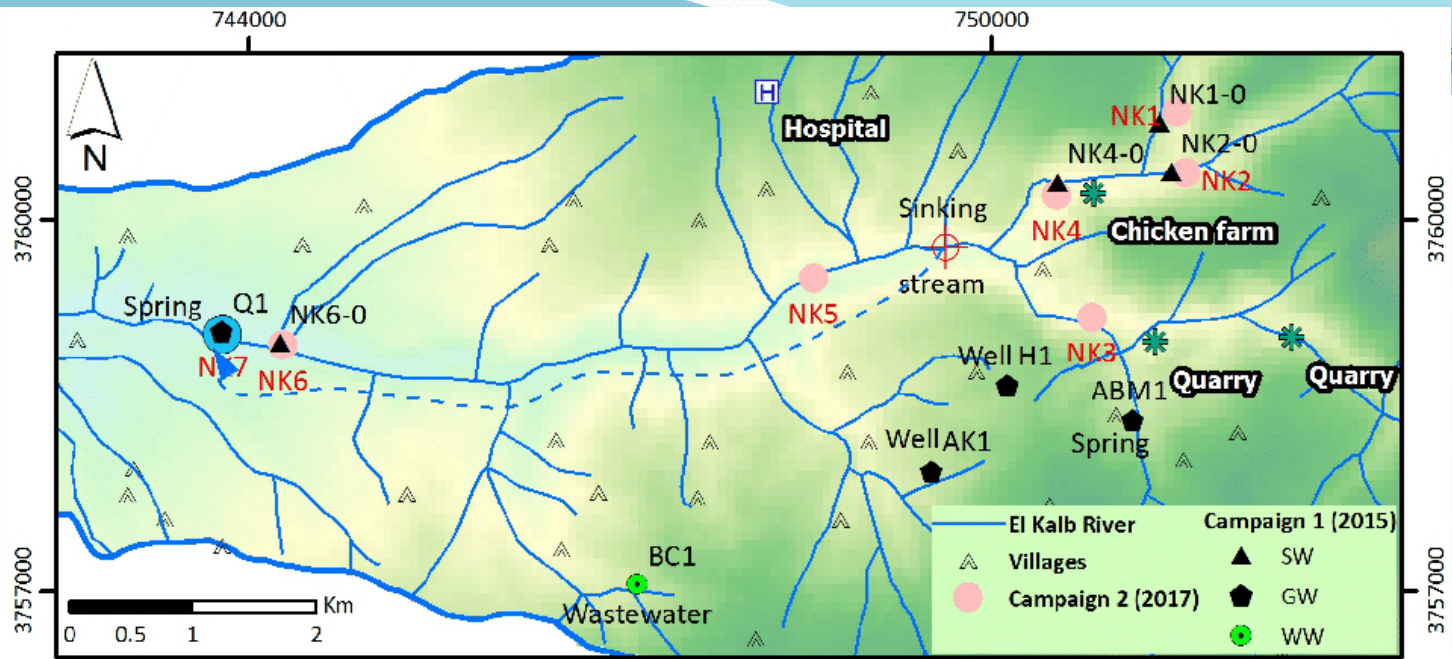
The traceur est détecté a la source 4, 12, et 20 jours après injection

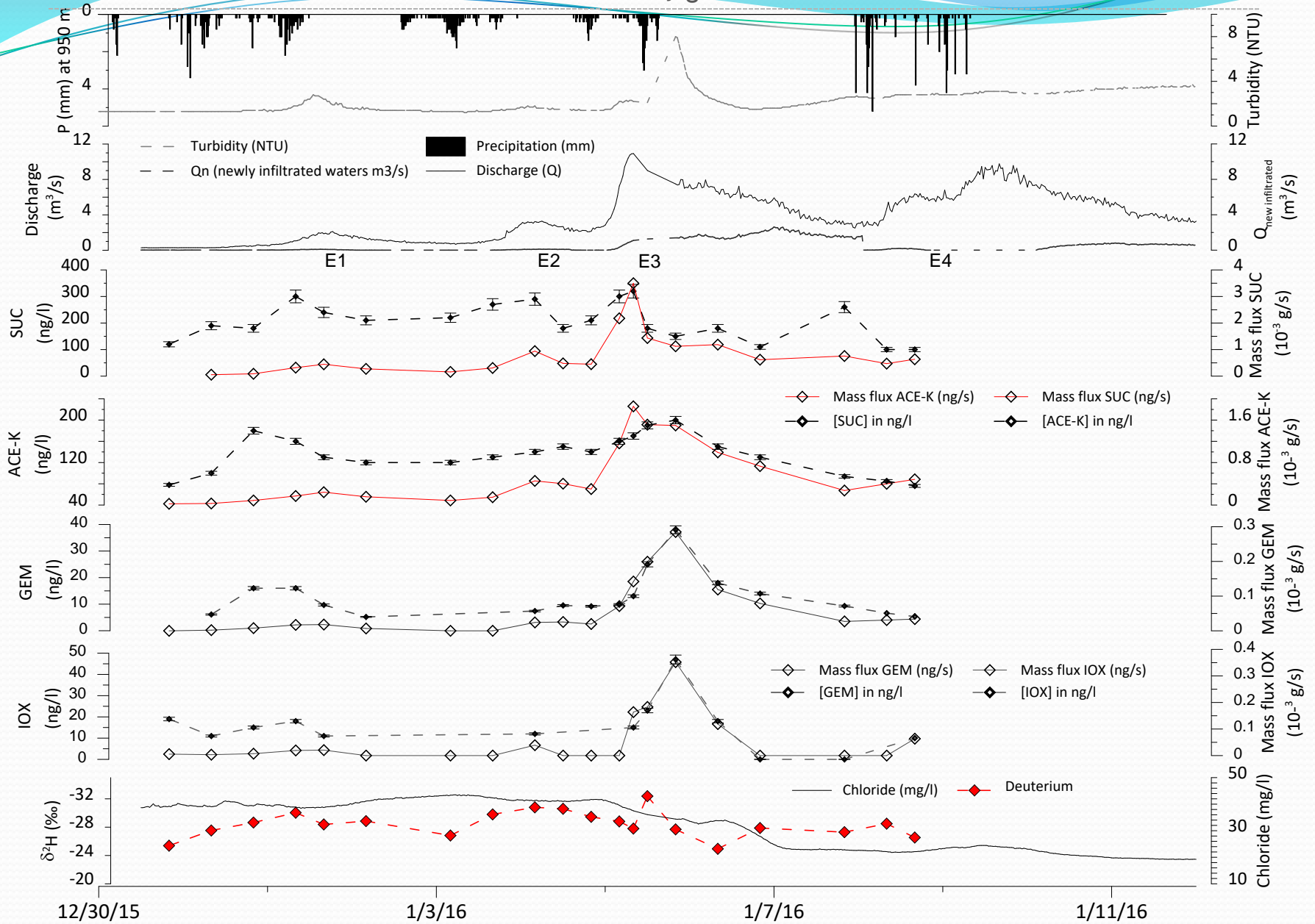
Les courbes de restitution des traceurs (pour trois essais de traçage) montrent

- 1) une connexion entre la rivière et la source
- 2) trois passages souterrains avec différents paramètres de transport
→ temps de transit 100, 300 et 500 heures)



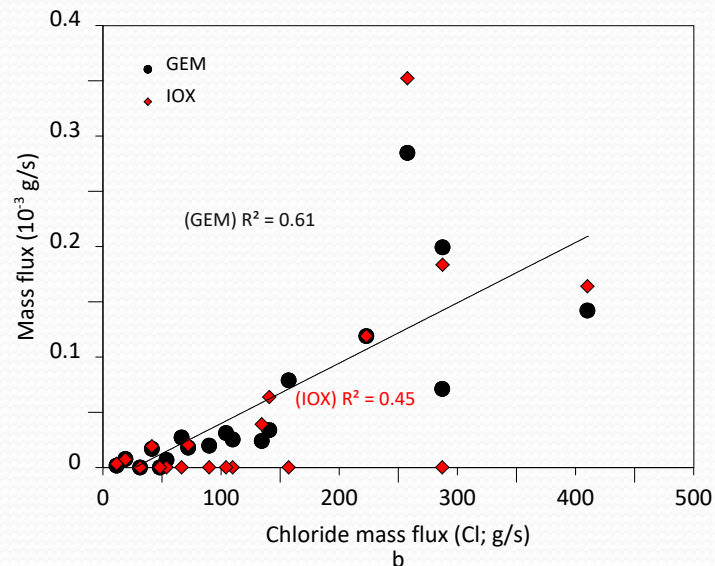
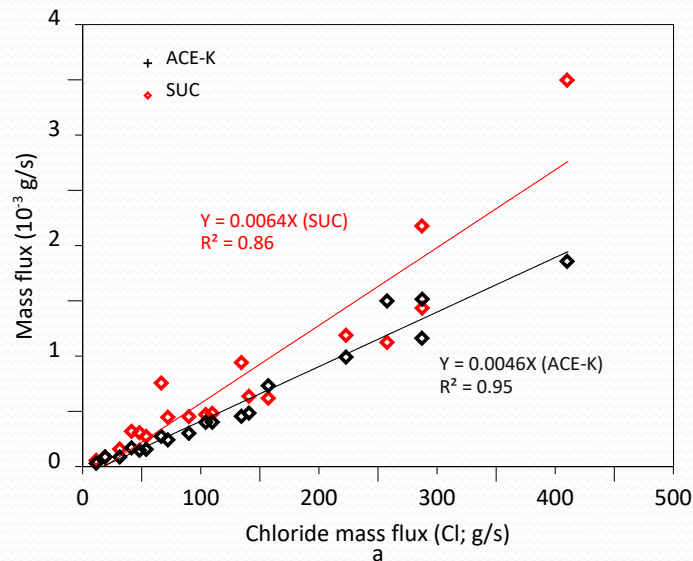
Echantillonnage de la rivière et de la source et analyse de micropolluants persistants



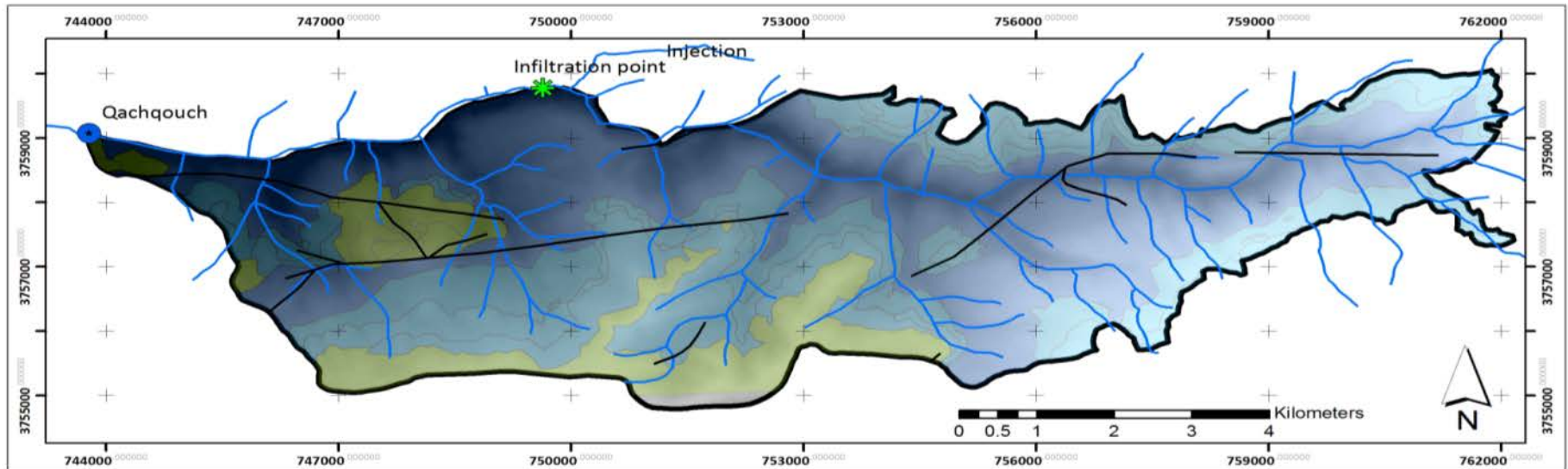


Résultats: Analyse de micropolluants dans la rivière de Kalb et dans la source

- La présence de micropolluants dans la source est due a l'infiltration de le rivière et du bassin versant
- Estimation de la quantité de micropolluants (Acesulfame-K, Ibuprofen, Gemfibrozil, Nonylphenol, and Iohexol) sur le bassin versant dans les effluents de différentes origines d'infiltration.
- Identification de corrélation entre les micropolluants et des paramètres mesurés a la source (Ibuprofen and Acesulfame-K)et peuvent être utilisés comme Co-traceurs





Modélisation de l'écoulement avec un modèle numérique semi-distribué (réservoirs linéaires)









Legend

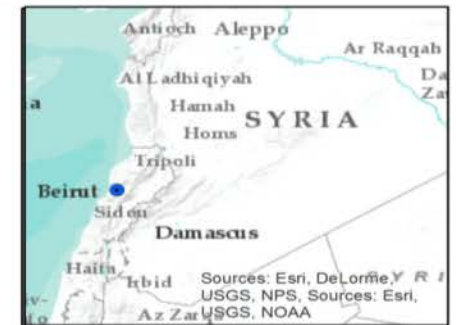
Points

-  Infiltration point
-  Qachqouch Spring

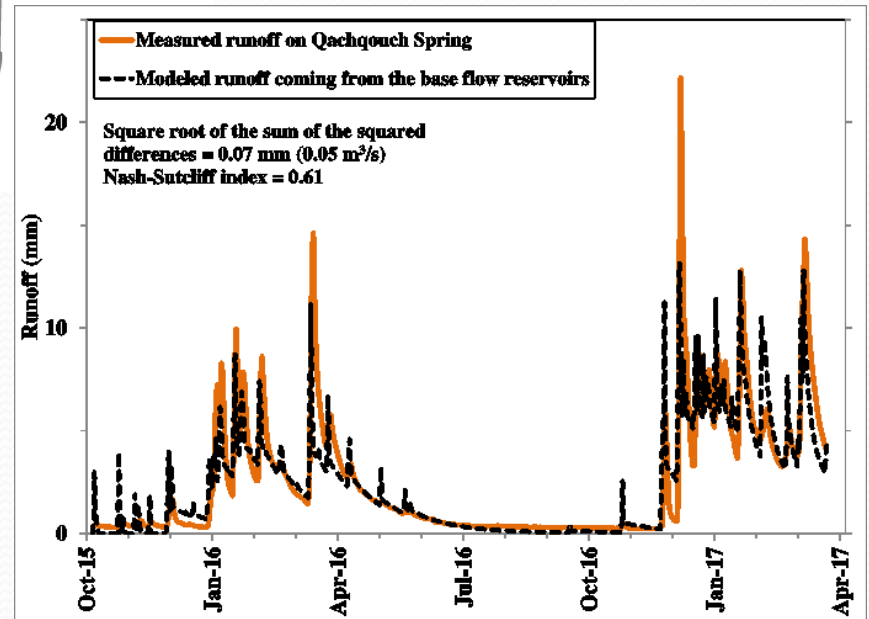
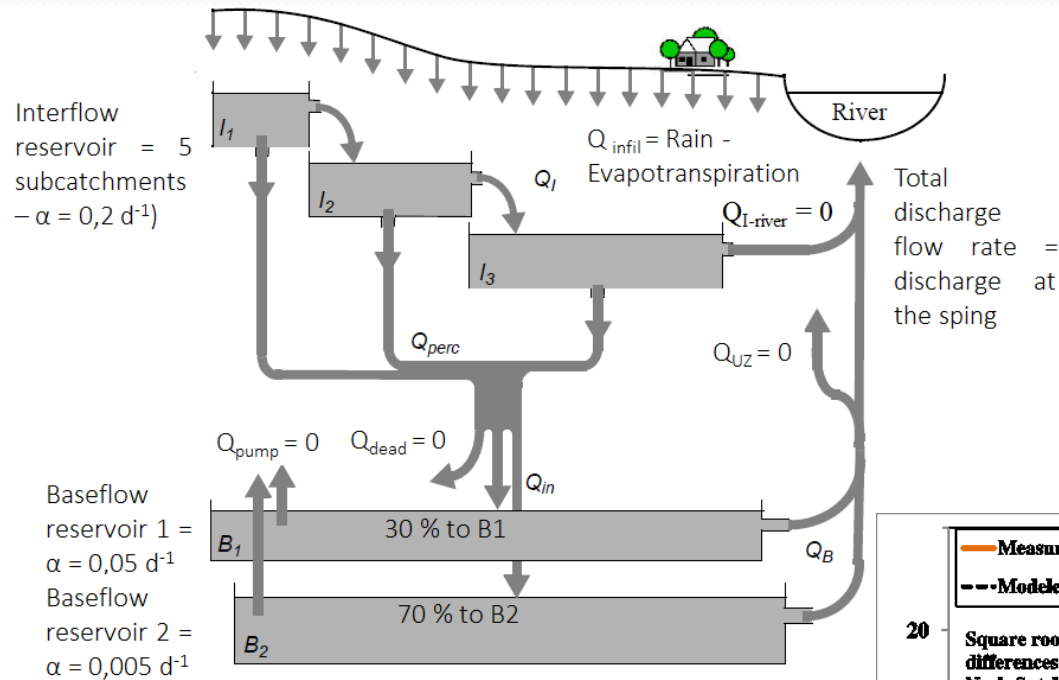
Digital Elevation Model (m)

- Value
-  High : 1620
Low : 40

-  Jurassic (Limestone-Dolostone J4)
-  Upper Jurassic (Volcanics-Limestone J5-J7)
-  Cretaceous Strata (Sandstone- Limestone-Marly Limestone C1-C4)
-  Faults
-  El Kalb River
-  Preliminary groundwater catchment

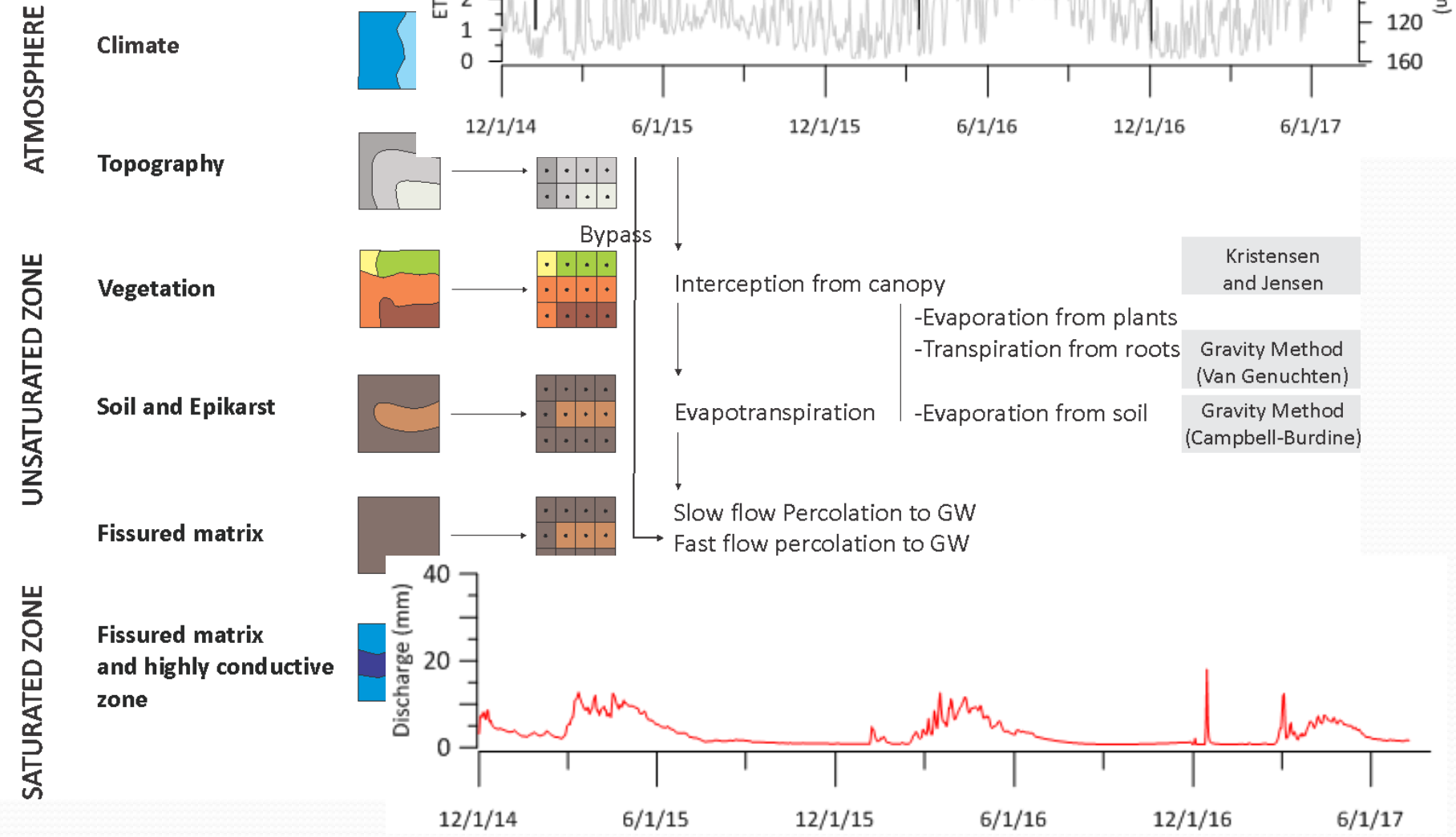


Modélisation de l'écoulement avec un modèle numérique semi-distribué (réservoirs linéaires)



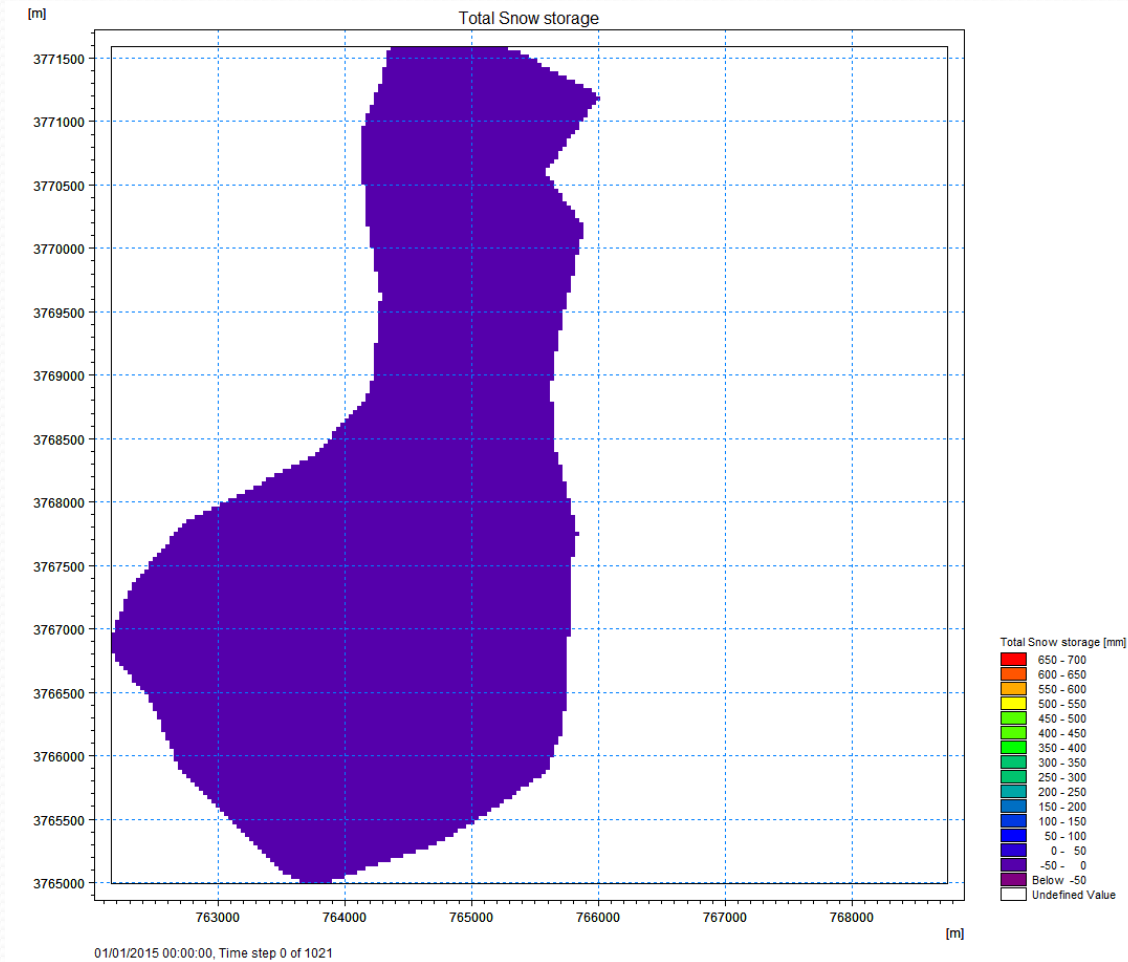
Utilisation d'un modèle numérique pour la prédiction des débits sous des conditions de changement climatique

Model MIKE SHE (DHI, 2016)



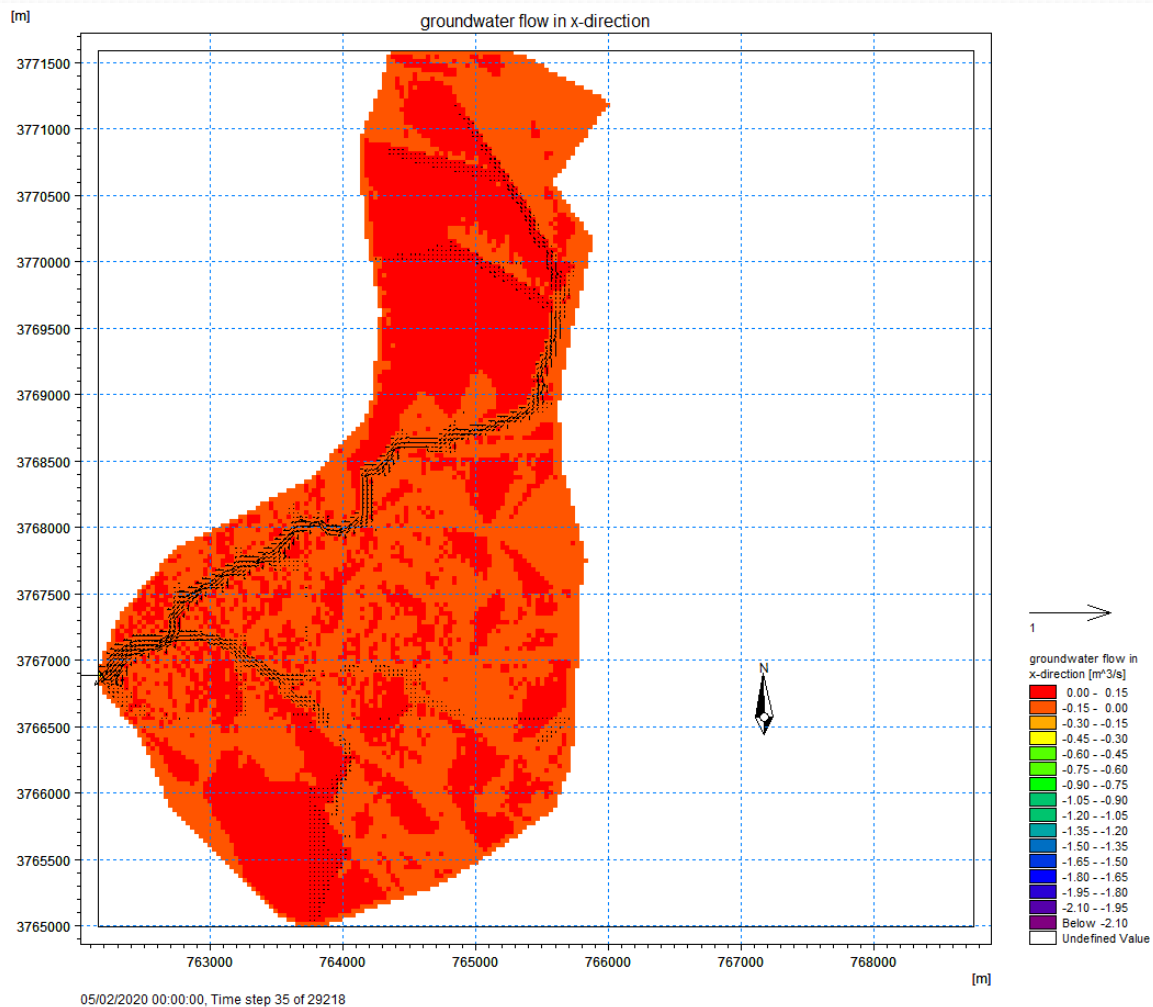
Exemples de simulations numériques

Fonte des neiges

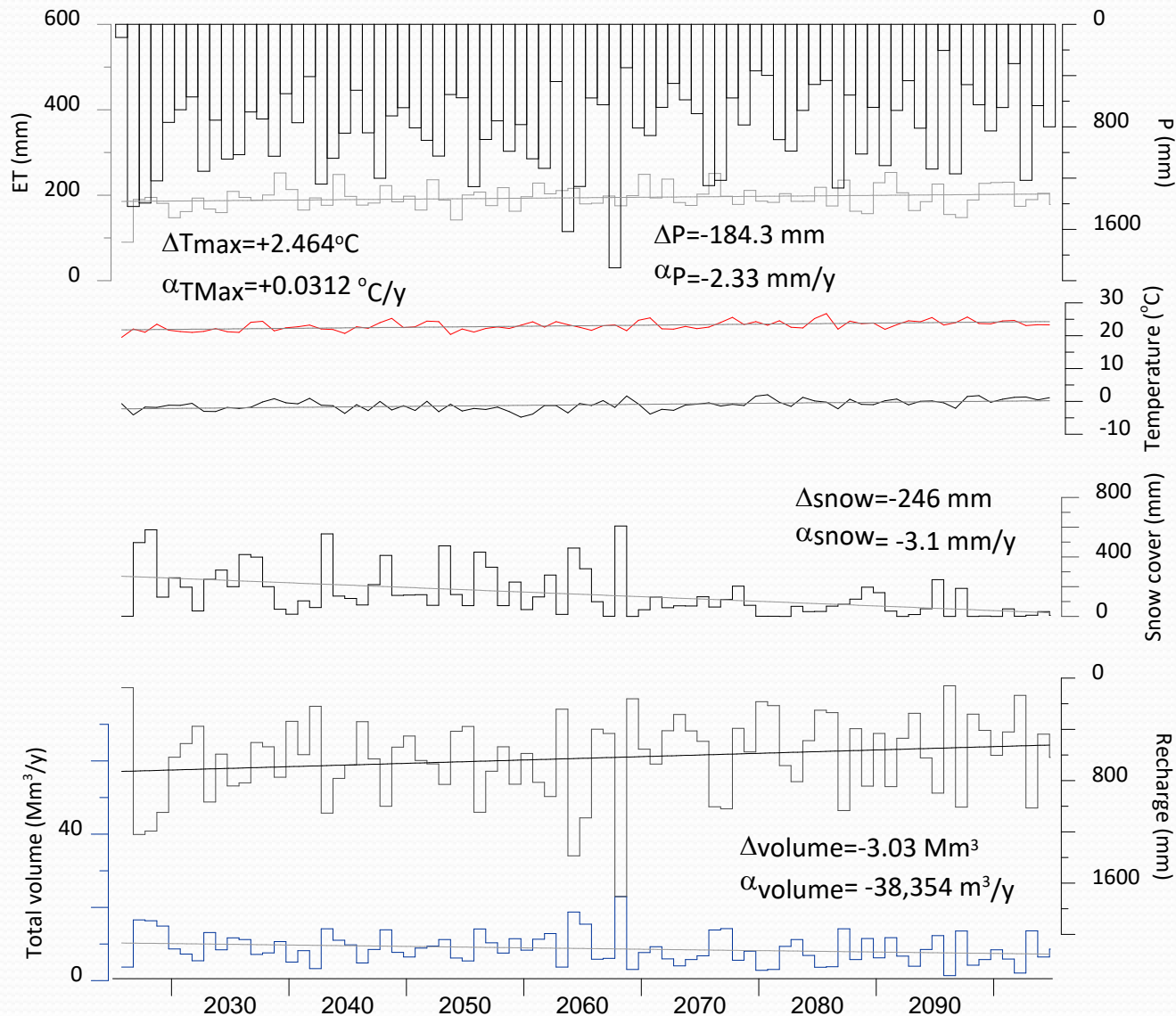


Exemples de simulations numériques

Ecoulement

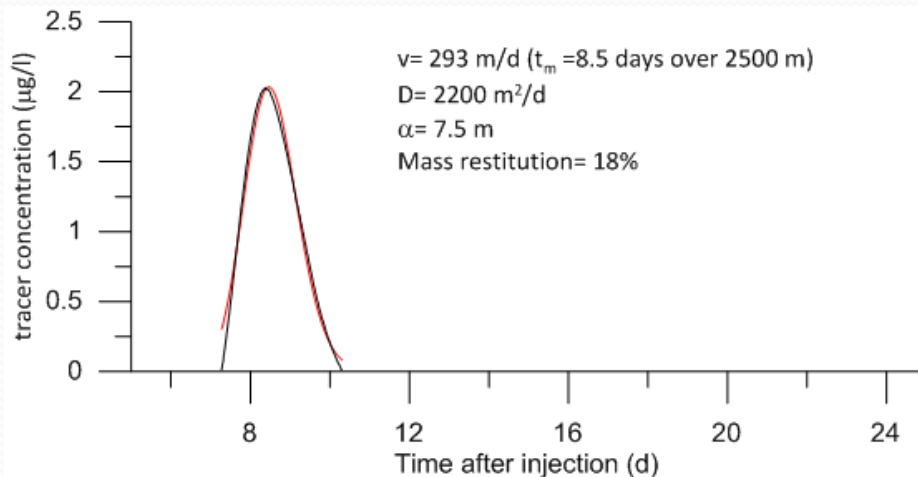
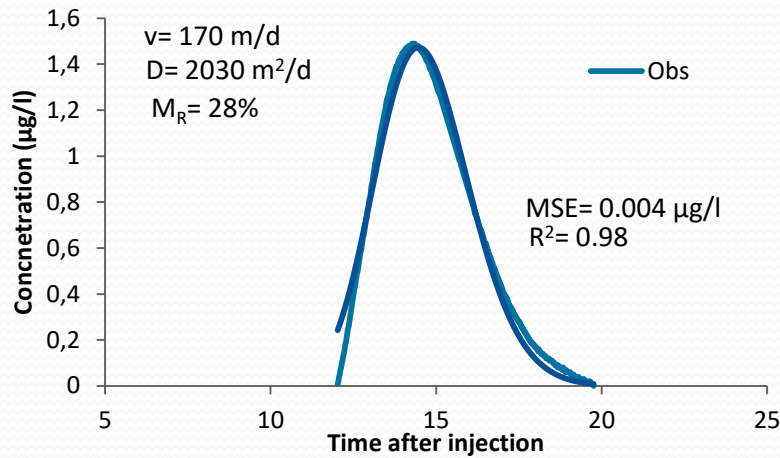


Résultats= Débits projetés sur (2020-2100) avec les changements climatiques futures



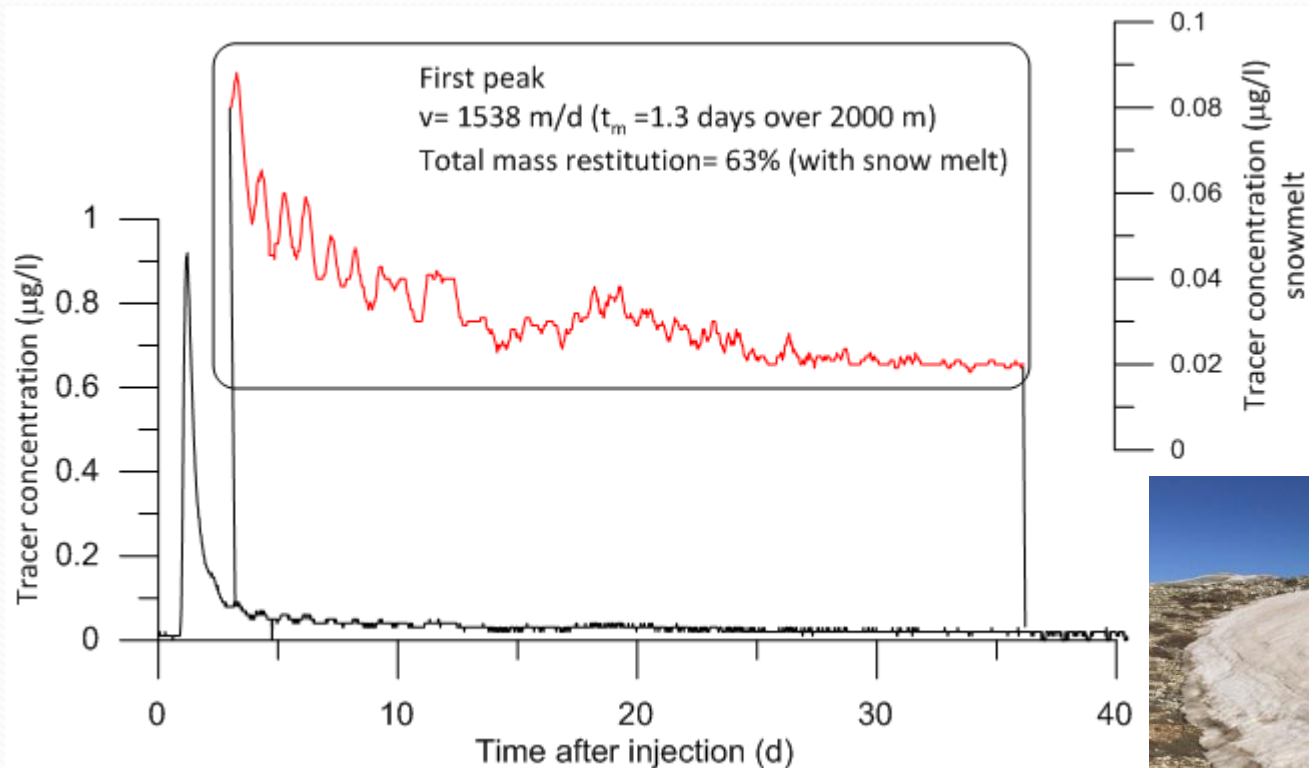
Modélisation (1-D) Transport= bassins versants influencés par la fonte des neiges

- Injection de traceur dans des dolines



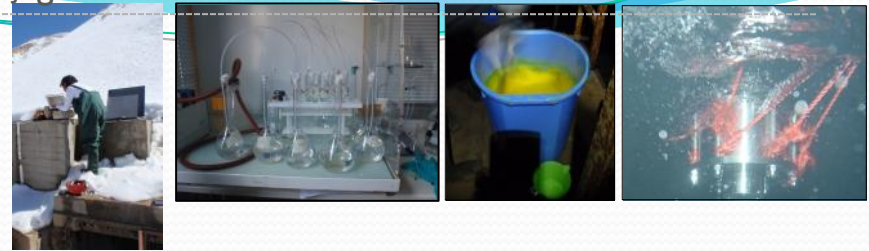
- temps de transit (9-12 jours sur 2000 m)

Essais de traçage= bassins versants influencés par la fonte des neiges



- temps de transit (1.3 jour sur 2000 m)
- Restitution du traceur pendant 30 jours.

Remarques concluantes



L'importance de la caractérisation de l'écoulement et transport dans le karst

Installation d'un système d'observation (haute résolution; 15-60 min)

- données climatiques,
- physique et chimiques de l'eau et
- humidité de sol

Essais de traçage

- Influence de la fonte des neiges et recharge
- évaluer les paramètres de transport (vitesse, dispersion, etc.)

Analyse de traceurs indicateurs (micropolluants)

- Pour évaluer le transport spécifique de contaminants persistants (e.g., dans la rivière de Kalb et dans la source)

Importance de la modélisation numérique

- Pour des modélisations de transport
- Pour la prédiction et pour la gestion durable des ressources (Débits projetés sur (2020-2100) avec les changements climatiques futures)

Remerciements

- **Financement: the United States Agency for International Development (USAID) et the U.S. National Academy of Sciences (NAS)- University Research Board (URB-AUB)**
- **Hydro-Geo Research Group (Department of Geology- AUB): Andari Fouad, Aoun Michel, Bahnan Alexy, Dubois Emmanuel, Ghawi Reda, Hamdan Ahmad, and Assaad H. Kassem; Administrative Assistant: Lababidi Nisrine.**
- **Beirut and Mount Lebanon Water Establishment EBML**
- **Municipalité of Kfarzebbiane**
- **Municipalité de Saqiet el Misk et Bhersaf**
- **Municipalité of Bikfaya- El Mhaidse**

Pour plus de résultats:

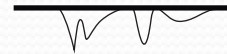
Website: http://www.aub.edu.lb/hydroGeo_doummar/Pages/default.aspx

- Doummar J., Hassan Kassem A., and Gurdak J.J., 2018. Impact of historic and future climate on spring recharge and discharge based on an integrated numerical modelling approach: Application on a snow-governed semi-arid karst catchment area. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.062>
- Doummar J., and Aoun M. 2018. Assessment of the origin and transport of four selected emerging micropollutants sucralose, Acesulfame-K, gemfibrozil, and iohexol in a karst spring during a multi-event spring response *Journal of contaminant hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.06.003>
- Doummar J., and Aoun M. 2018. Occurrence of selected domestic and hospital emerging micropollutants on a rural surface water basin linked to a groundwater karst catchment. *Journal of Environmental Sciences*. pp. 77: 351. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7536-x>
- Dubois E. 2017. Calibration of a semi-distributed lumped model of a karst system using time series data analysis: the example of the Qachqouch karst spring Lebanon; in preparation. Masters Thesis- American University of Beirut- University of Montpellier.

Thank you



FROM MONITORING TO MODELLING



http://www.aub.edu.lb/hydroGeo_doummar/Pages/peer.aspx

