

Utilisation de la fluorescence de la matière organique comme traceur naturel du temps de transit

Application à la zone non saturée du système karstique de Fontaine de Vaucluse

Leïla Serène^{1,2}, Naomi Mazzilli², Christelle Batiot-Guilhe¹, Christophe Emblanch², Milanka Babic², Julien Dupont², Roland Simler², Matthieu Blanc, Gérard Massonnat³

¹ HSM, Univ. Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

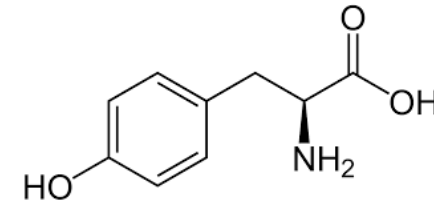
² UMR 1114 EMMAH (AU-INRAE), Université d'Avignon, 84000 Avignon, France

³ TotalEnergies, CSTJF, Avenue Larribau, CEDEX 64018 Pau, France

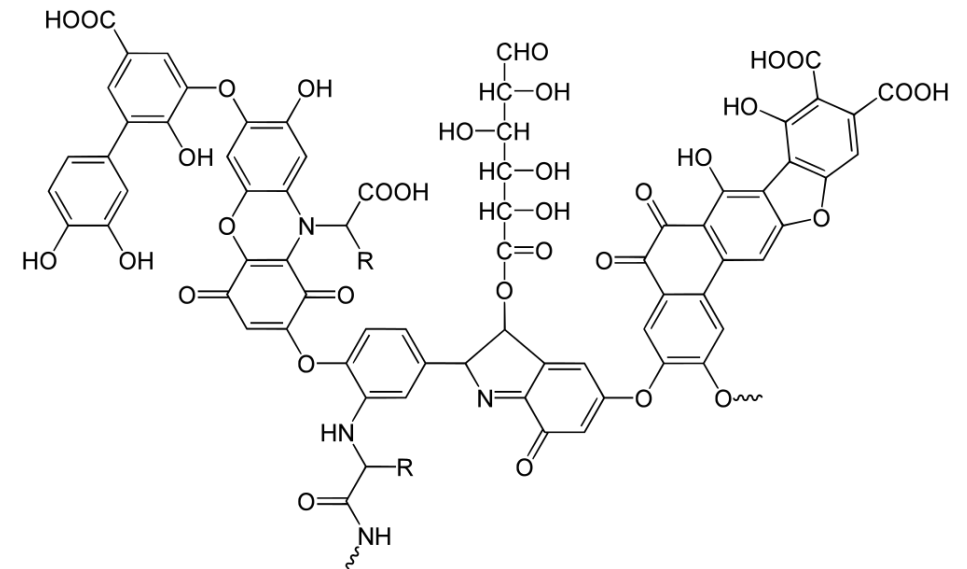
Relation quantitative Fluorescence – temps de transit (Blondel et al., 2012)

$HIX=H/L$ $HIX=H/(L+H)$	Matière organique L légère	Matière organique H lourde
Type de matière organique	Protein-like	Humic-like
Dégradabilité	forte	faible



Protein-like

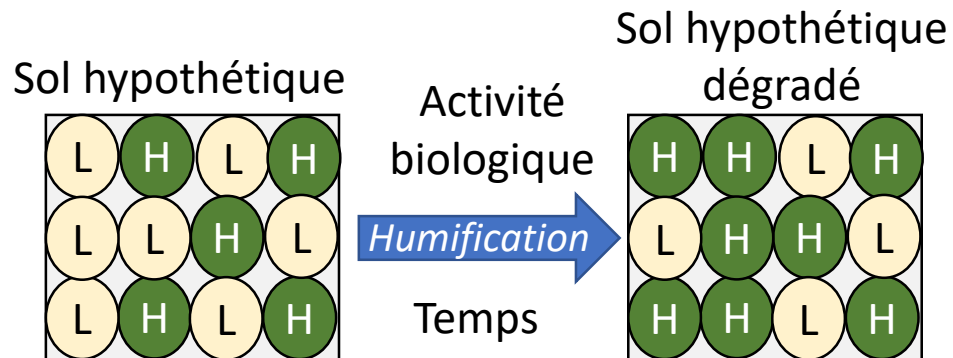
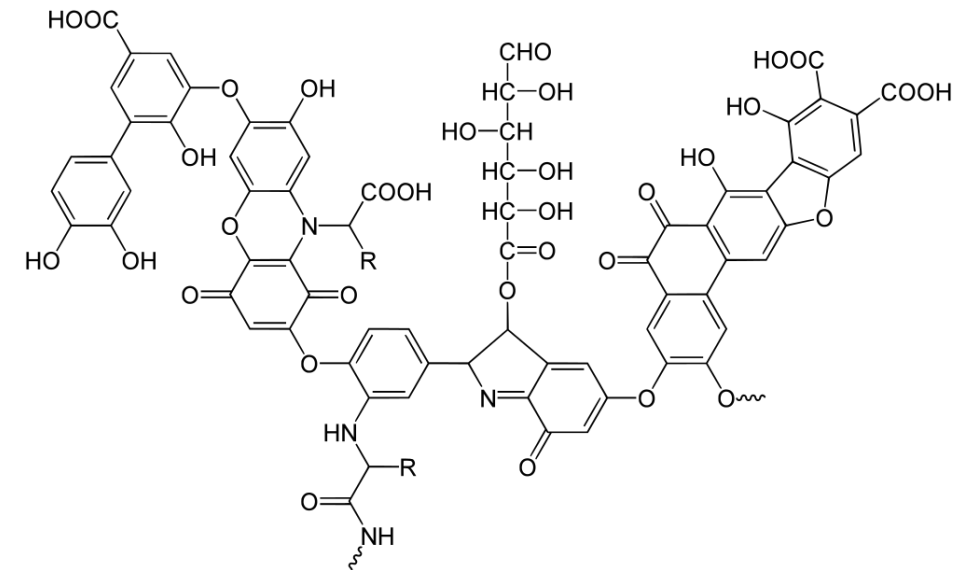
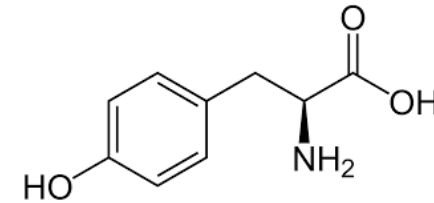


Humic-like



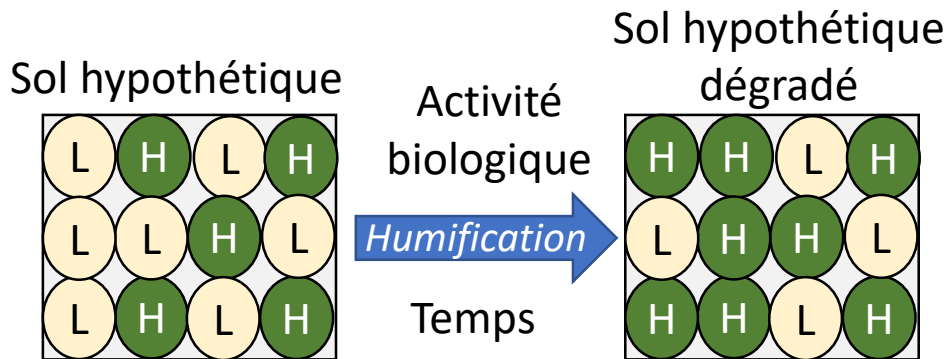
Relation quantitative Fluorescence – temps de transit (Blondel et al., 2012)

$HIX = H/L$ $HIX = H/(L+H)$	Matière organique  légère	Matière organique  lourde
Type de matière organique	Protein-like	Humic-like
Dégradabilité	forte	faible

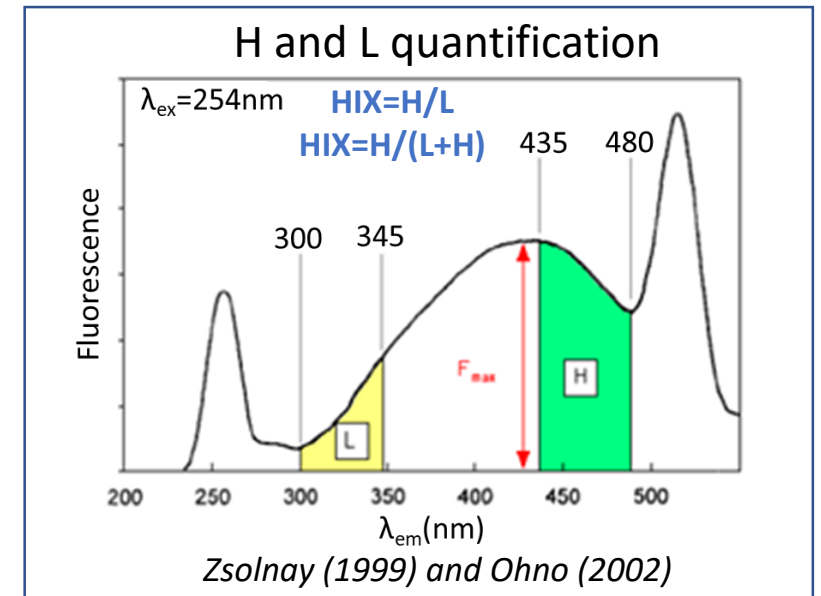
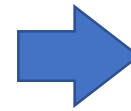


Relation quantitative Fluorescence – temps de transit (Blondel et al., 2012)

$HIX=H/L$ $HIX=H/(L+H)$	Matière organique légère (L)	Matière organique lourde (H)
Type de matière organique	Protein-like	Humic-like
Dégradabilité	forte	faible



Mesure de la fluorescence

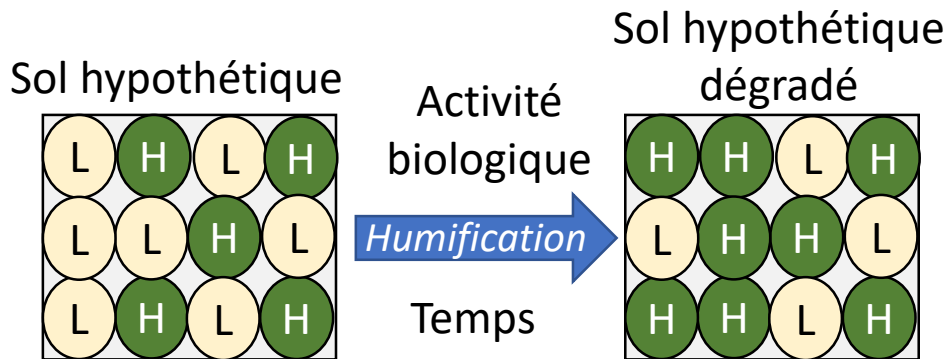


Calcul du HIX

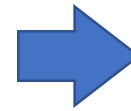
Humification index

Relation quantitative Fluorescence – temps de transit (Blondel et al., 2012)

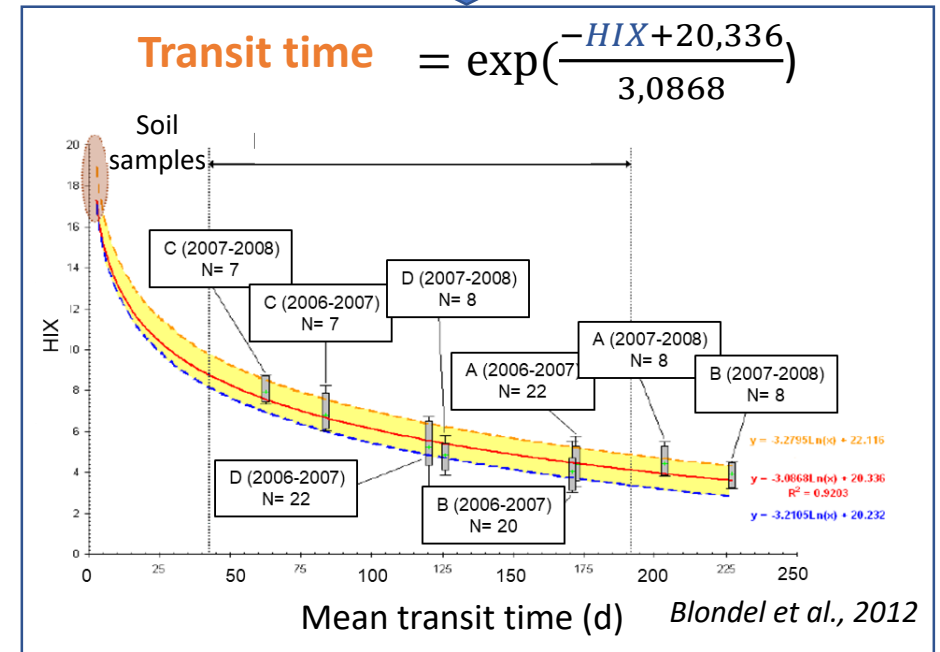
$HIX=H/L$ $HIX=H/(L+H)$	Matière organique légère (L)	Matière organique lourde (H)
Type de matière organique	Protein-like	Humic-like
Dégradabilité	forte	faible



Mesure de la fluorescence

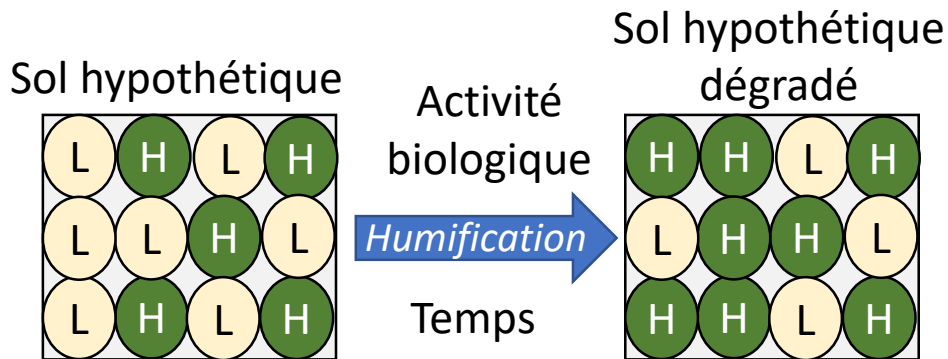


Calcul du HIX

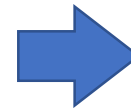


Relation quantitative Fluorescence – temps de transit (Blondel et al., 2012)

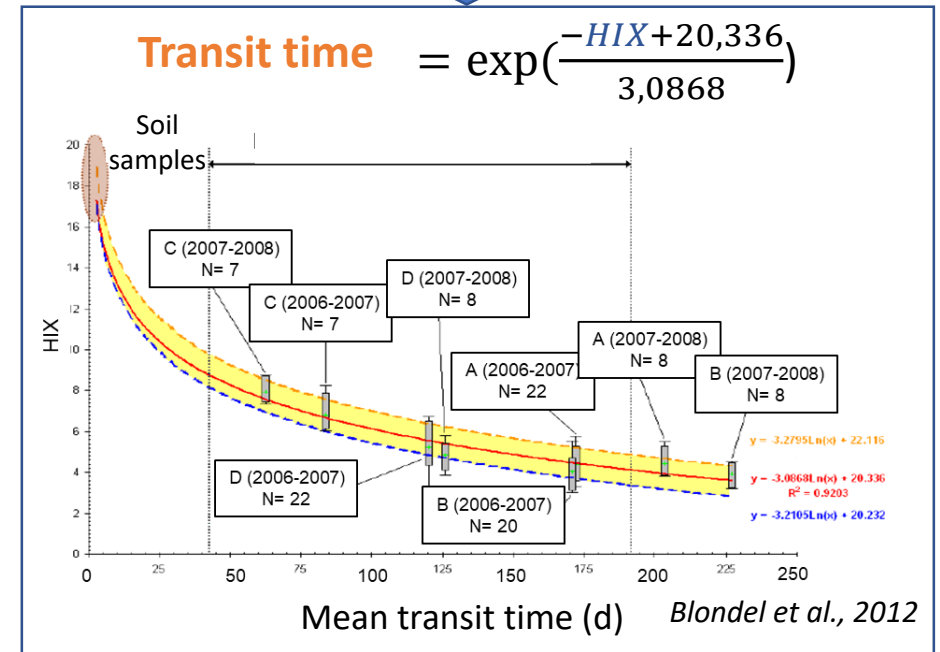
$HIX = H/L$ $HIX = H/(L+H)$	Matière organique légère (L)	Matière organique lourde (H)
Type de matière organique	Protein-like	Humic-like
Dégradabilité	forte	faible



Mesure de la fluorescence



Calcul du HIX



- Mauvaise utilisation du HIX ($\lambda_{ex} = 260 \text{ nm}$)
- HIX développé pour le sol et non pour l'eau
- Biais dans le calcul du temps de transit utilisé

Développement d'un nouvel indice, le TTi (Serène et al., 2022)

Humification Index (HIX)

- Spectres 2D
- « Fenêtres » pour H et L

Adaptation de la quantification des humic-like et protein-like

Transit Time index (TTi)

- Matrices 3D
- Modélisation PARAFAC

Développement d'un nouvel indice, le TTi (Serène et al., 2022)

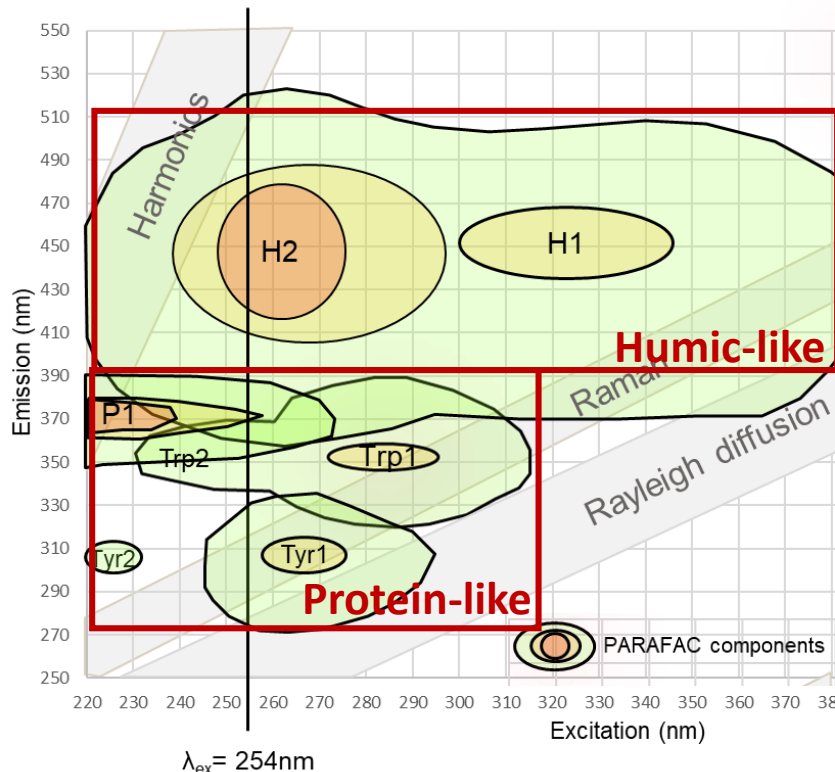
Humification Index (HIX)

- Spectres 2D
- « Fenêtres » pour H et L

Adaptation de la quantification des humic-like et protein-like

Transit Time index (TTi)

- Matrices 3D
- Modélisation PARAFAC

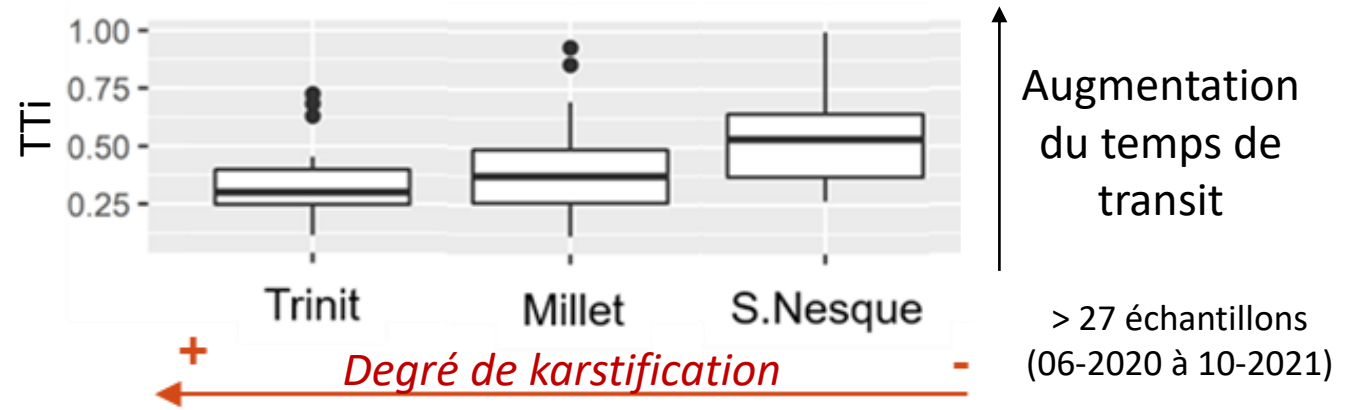
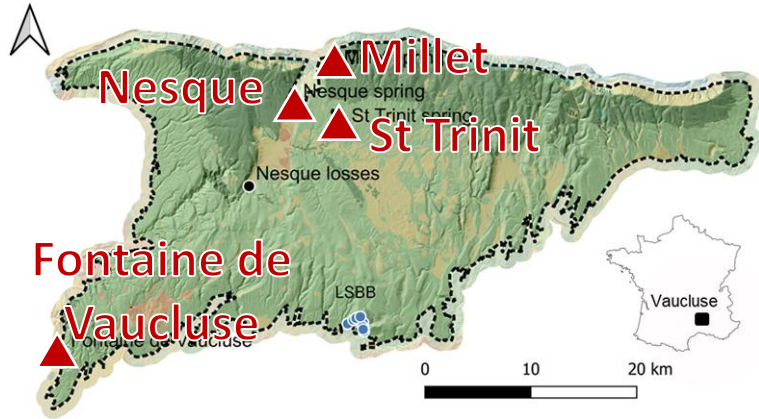


$$\text{HIX} = \frac{\text{Humic-like}}{\text{Humic and protein like}}$$

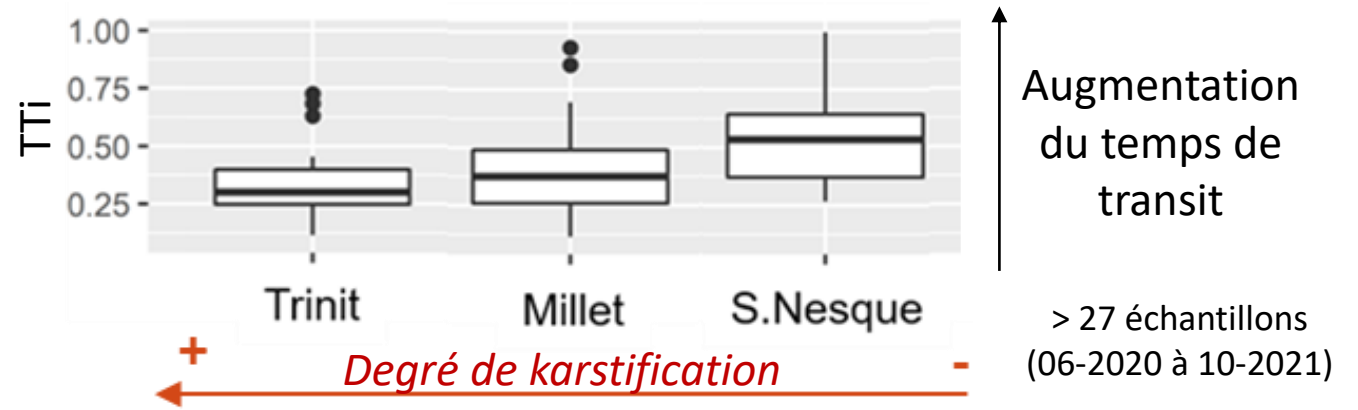
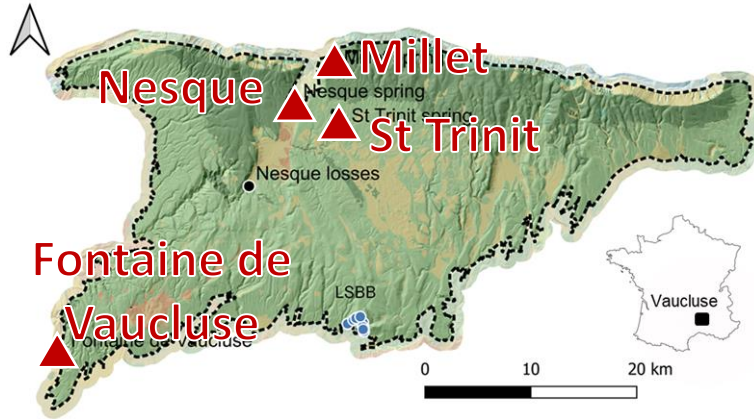
$\text{TTi} = \frac{\text{H}}{\text{H} + \text{L}}$

Fortes valeurs → « long » temps de transit
Faibles valeurs → « court » temps de transit

Développement d'un nouvel indice, le TTi (Serène et al., 2022)



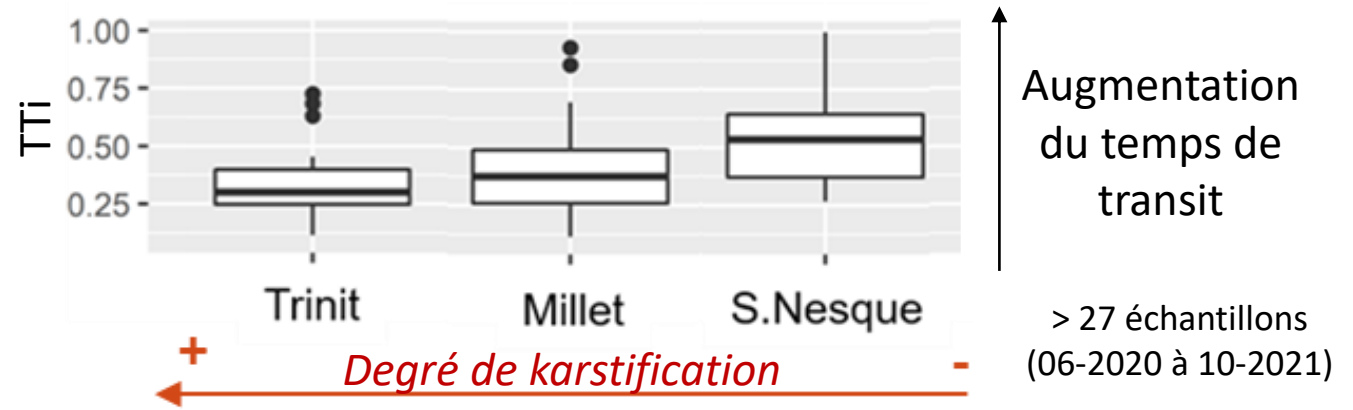
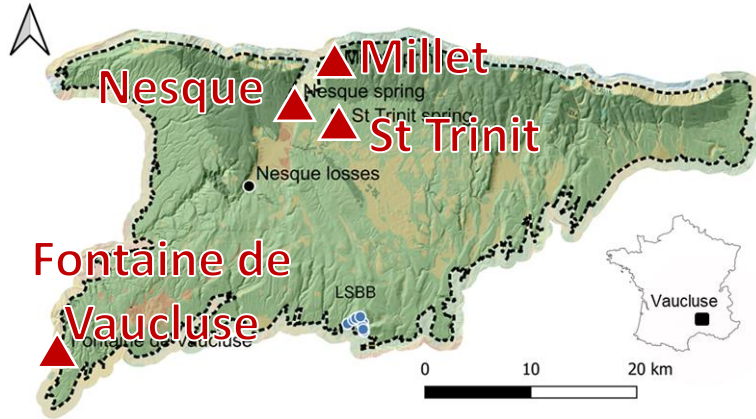
Développement d'un nouvel indice, le TTi (Serène et al., 2022)



TTi augmente quand degré de karstification diminue

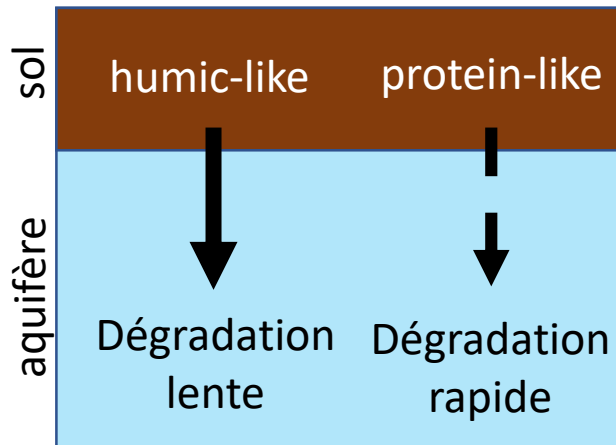
→ Cohérence entre le TTi moyen et le temps de transit attendu

Développement d'un nouvel indice, le TTi (Serène et al., 2022)



TTi augmente quand degré de karstification diminue

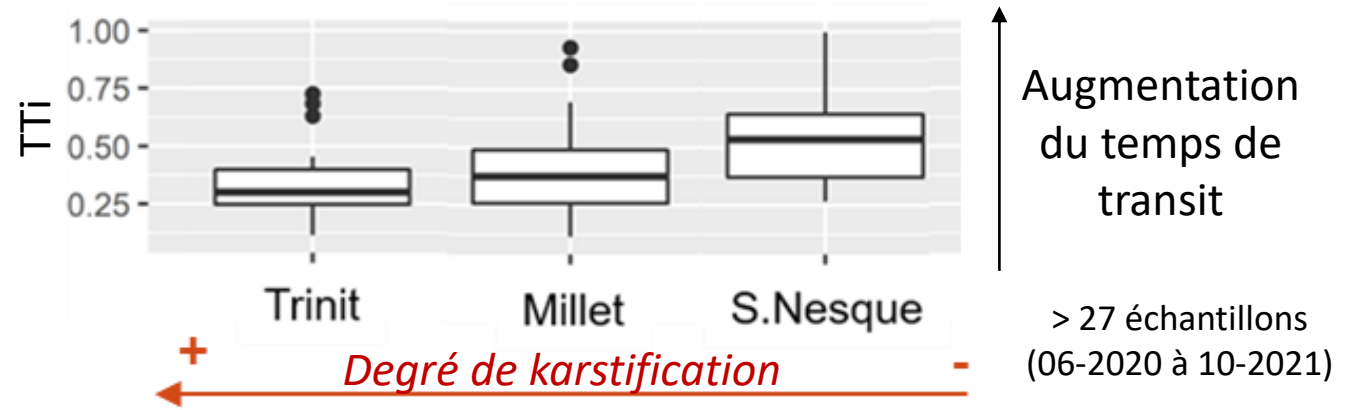
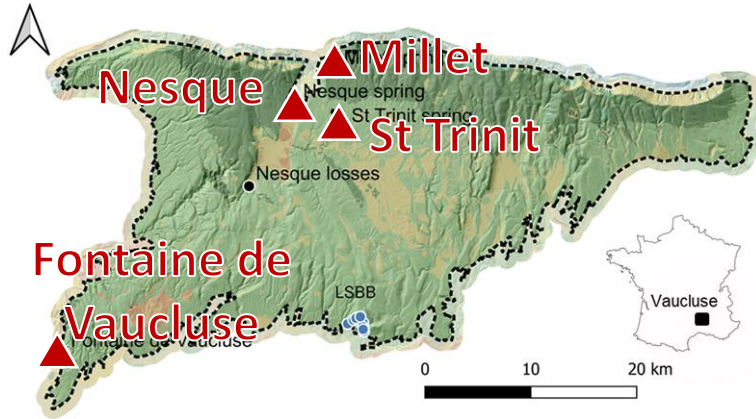
→ Cohérence entre le TTi moyen et le temps de transit attendu



Valable avec les hypothèses suivantes :

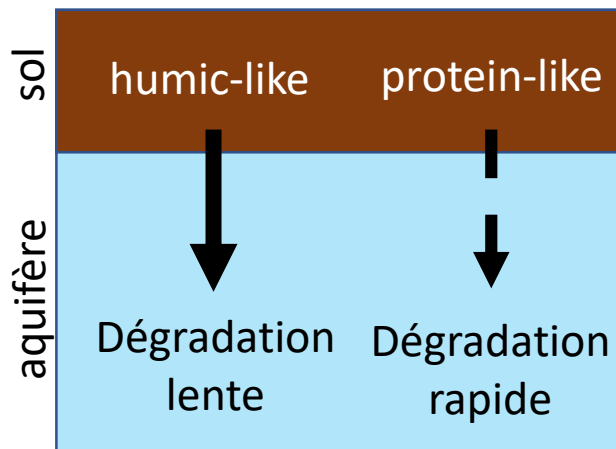
- Dégradation plus rapide de la matière organique protein-like par rapport à humic-like
- Toute la matière organique fluorescente est produite dans le sol et aucune production dans l'aquifère

Développement d'un nouvel indice, le TTI (Serène et al., 2022)



TTi augmente quand degré de karstification diminue

→ Cohérence entre le TTI moyen et le temps de transit attendu

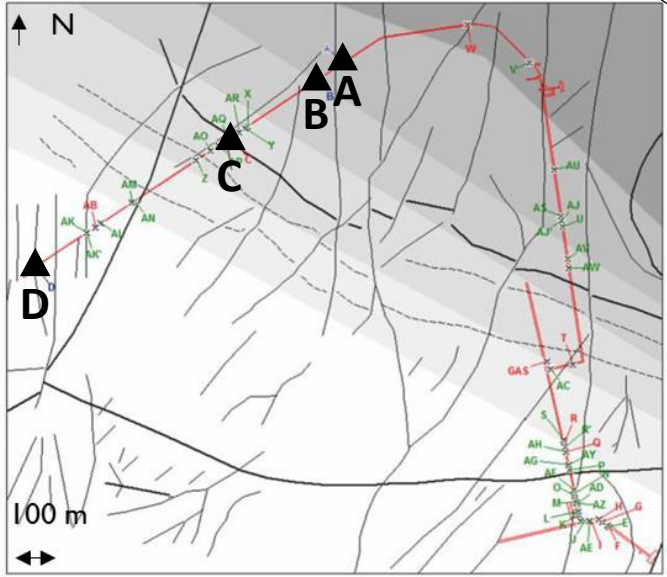
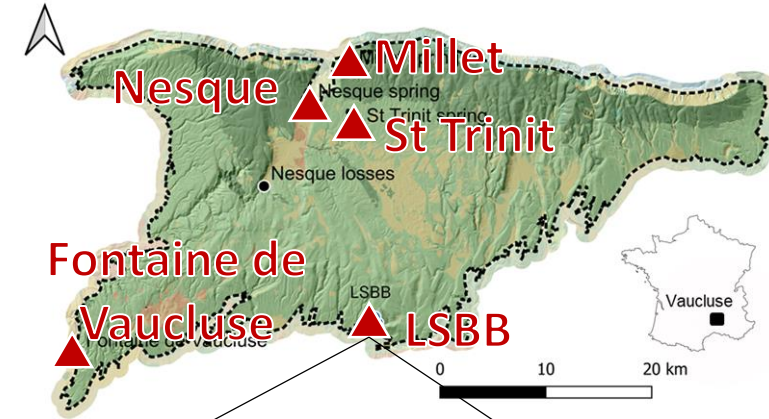


Valable avec les hypothèses suivantes :

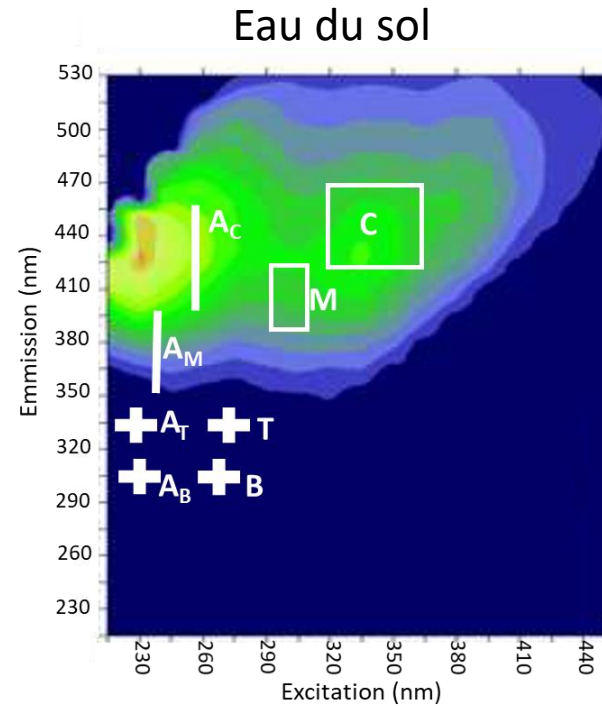
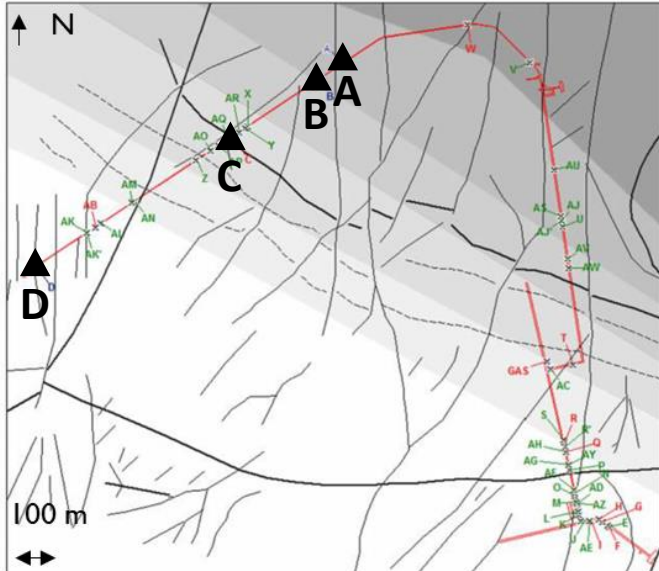
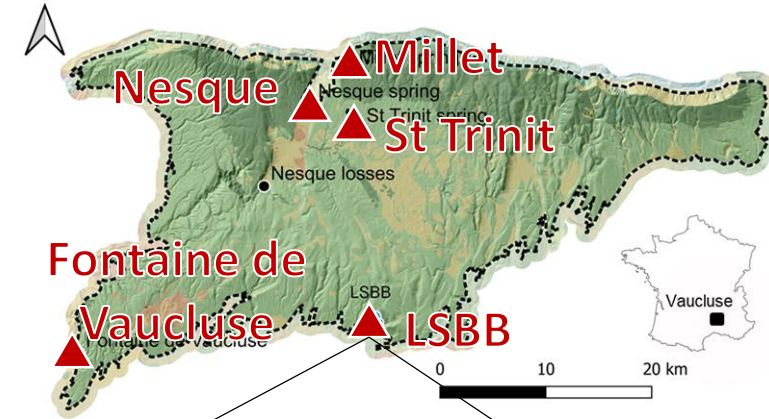
- Dégradation plus rapide de la matière organique protein-like par rapport à humic-like
- Toute la matière organique fluorescente est produite dans le sol et aucune production dans l'aquifère

Comparer fluorescence de la matière organique du sol et des eaux souterraines

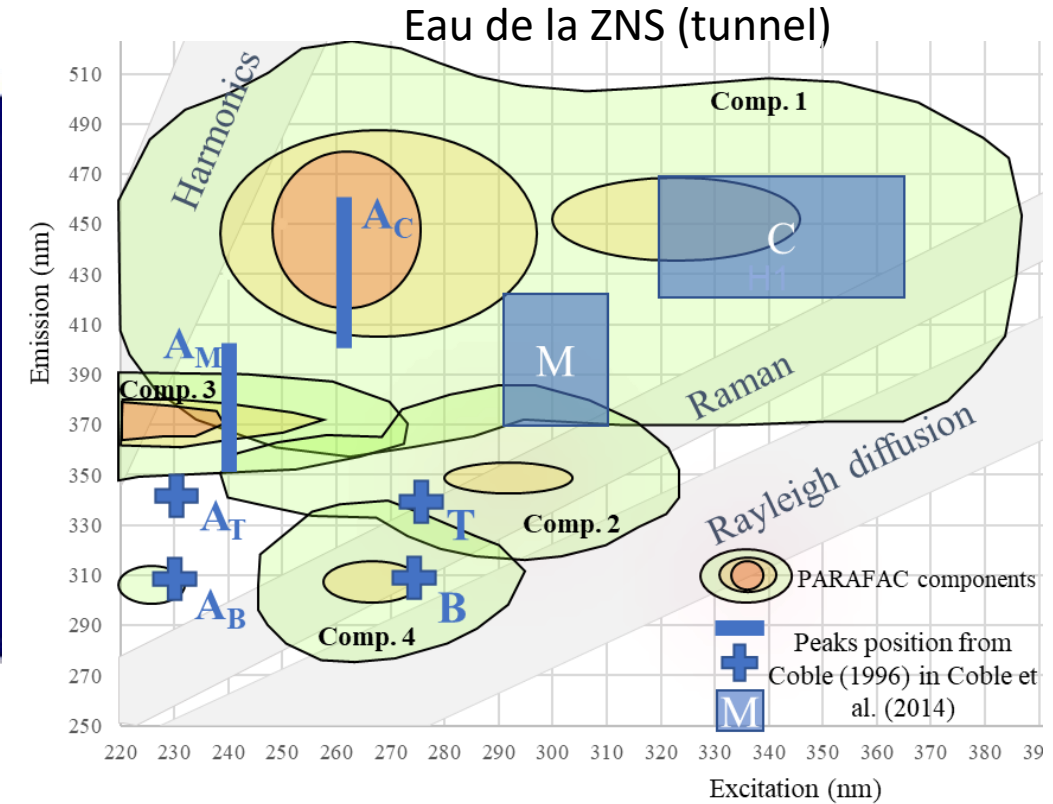
Matière organique fluorescente des eaux du sol et de la ZNS au LSBB



Matière organique fluorescente des eaux du sol et de la ZNS au LSBB

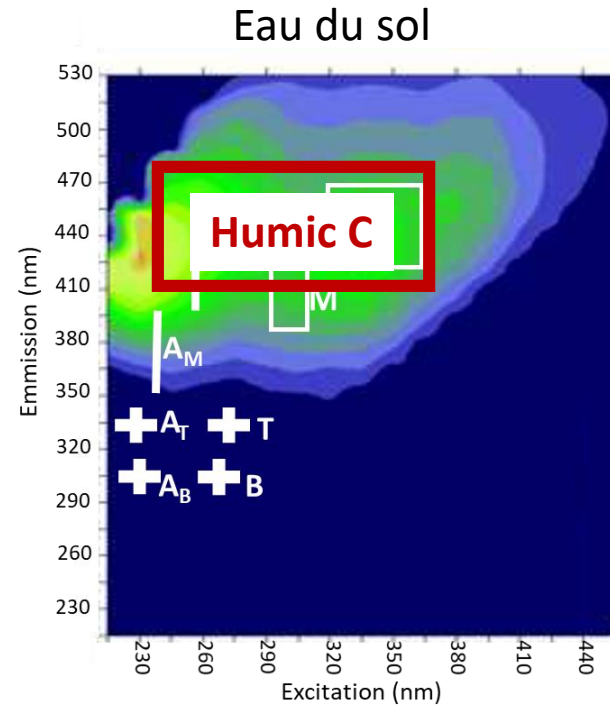
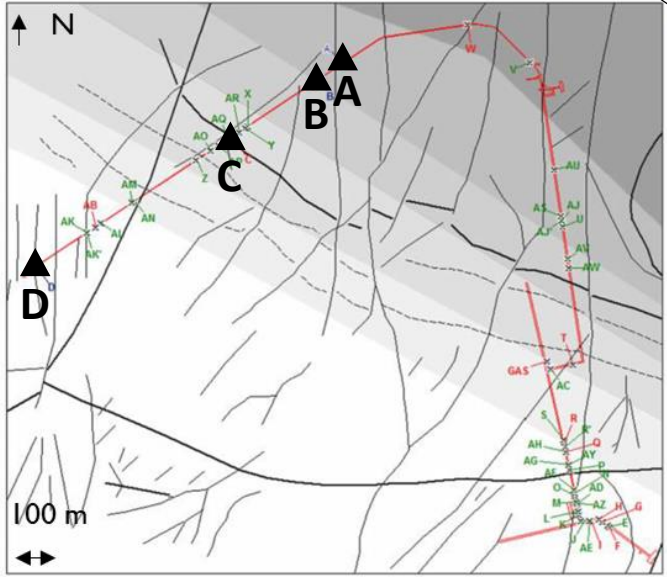
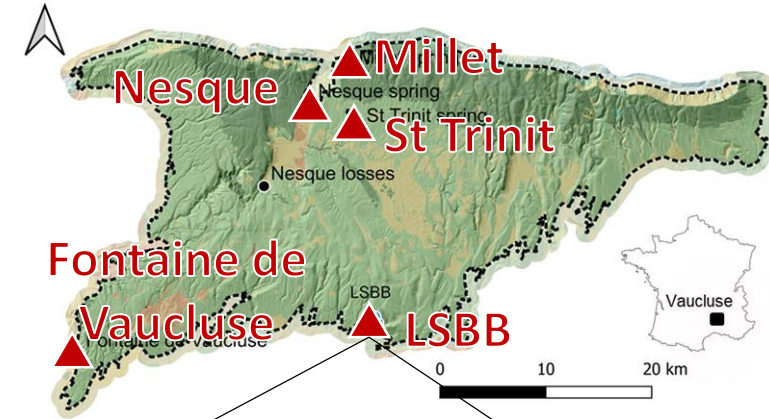


*Suivi 2005 à 2008 par
Blondel (2008)*

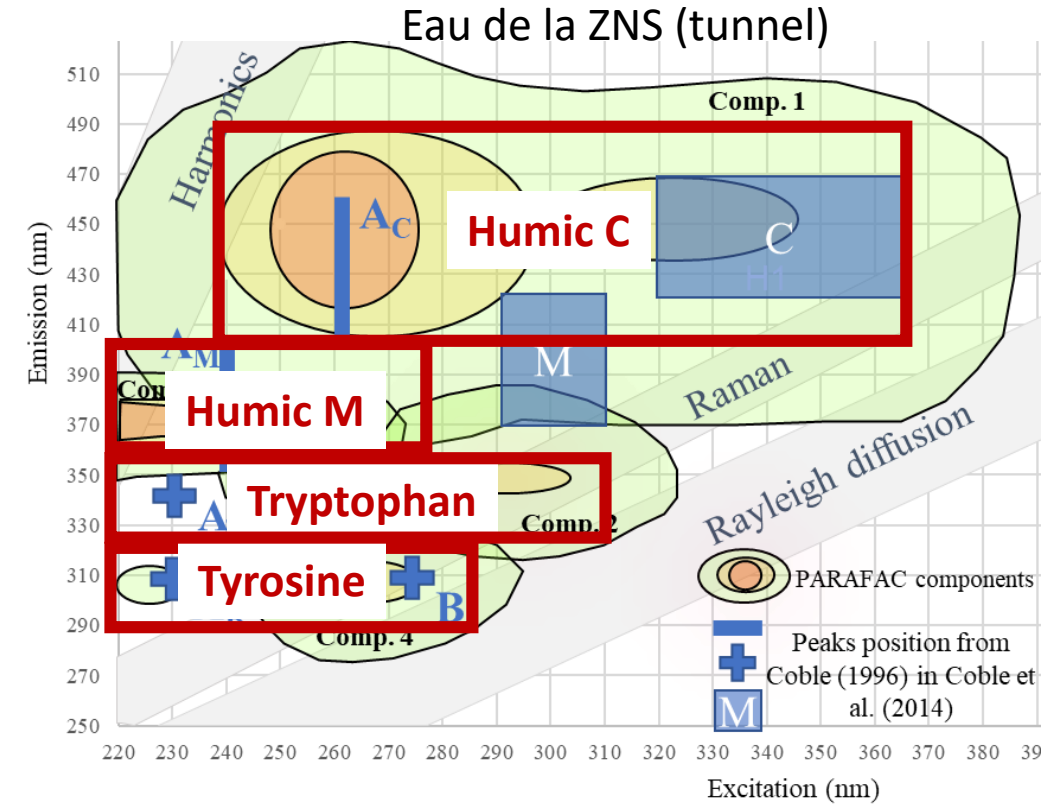


Suivi 2020 à 2021 (Serène, 2023)

Matière organique fluorescente des eaux du sol et de la ZNS au LSBB



*Suivi 2005 à 2008 par
Blondel (2008)*



Suivi 2020 à 2021 (Serène, 2023)

Au LSBB, production de composés organiques fluorescents dans l'hydrosystème
→ l'Interprétation du TTI est modifiée

Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

- Végétation = source de matière organique
- Estimation de la quantité de matière organique dans l'eau par le TOC

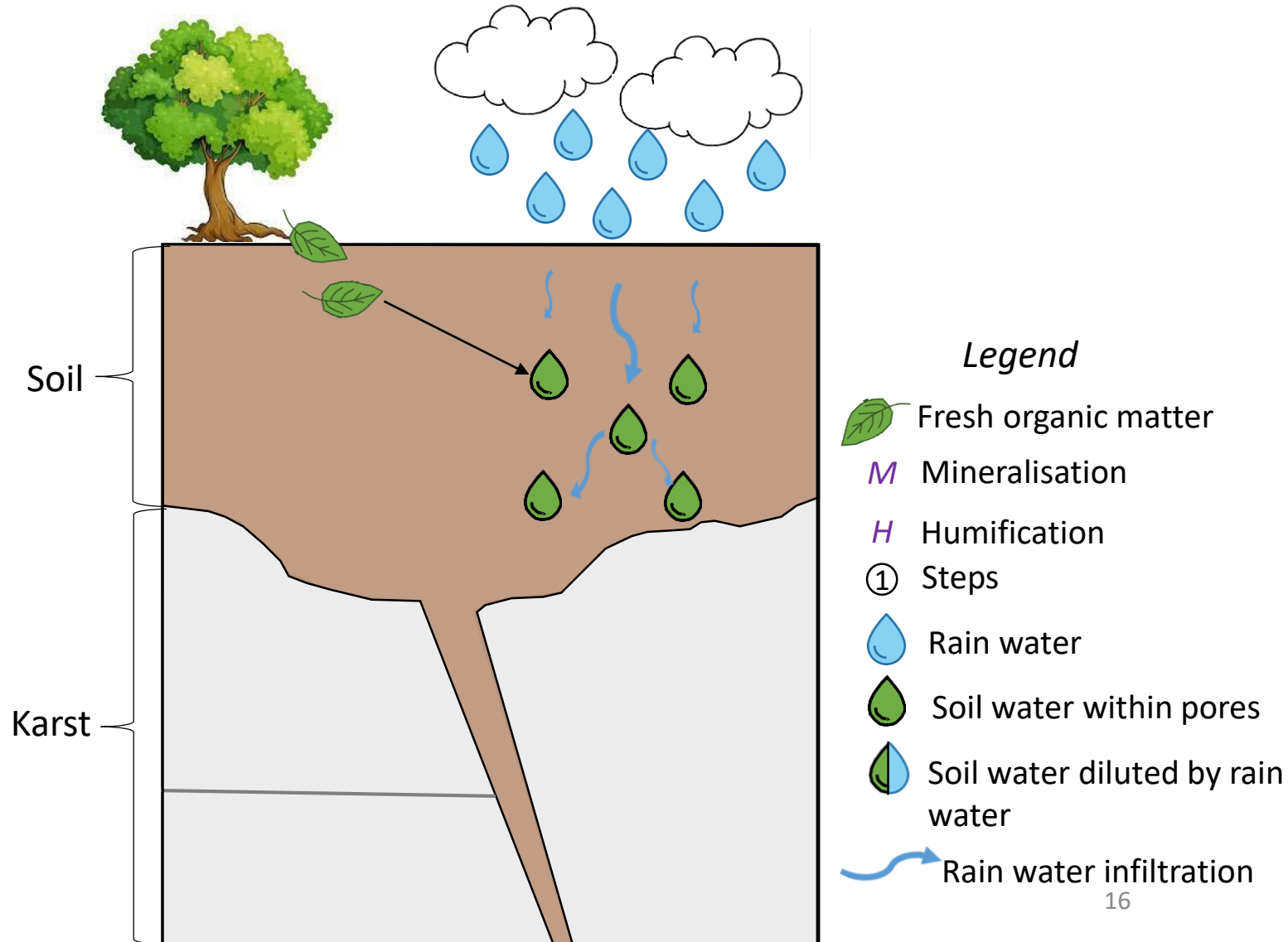


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

- Végétation = source de matière organique
- Estimation de la quantité de matière organique dans l'eau par le TOC
- Humic-like C dérivent de la lignine → source = sol

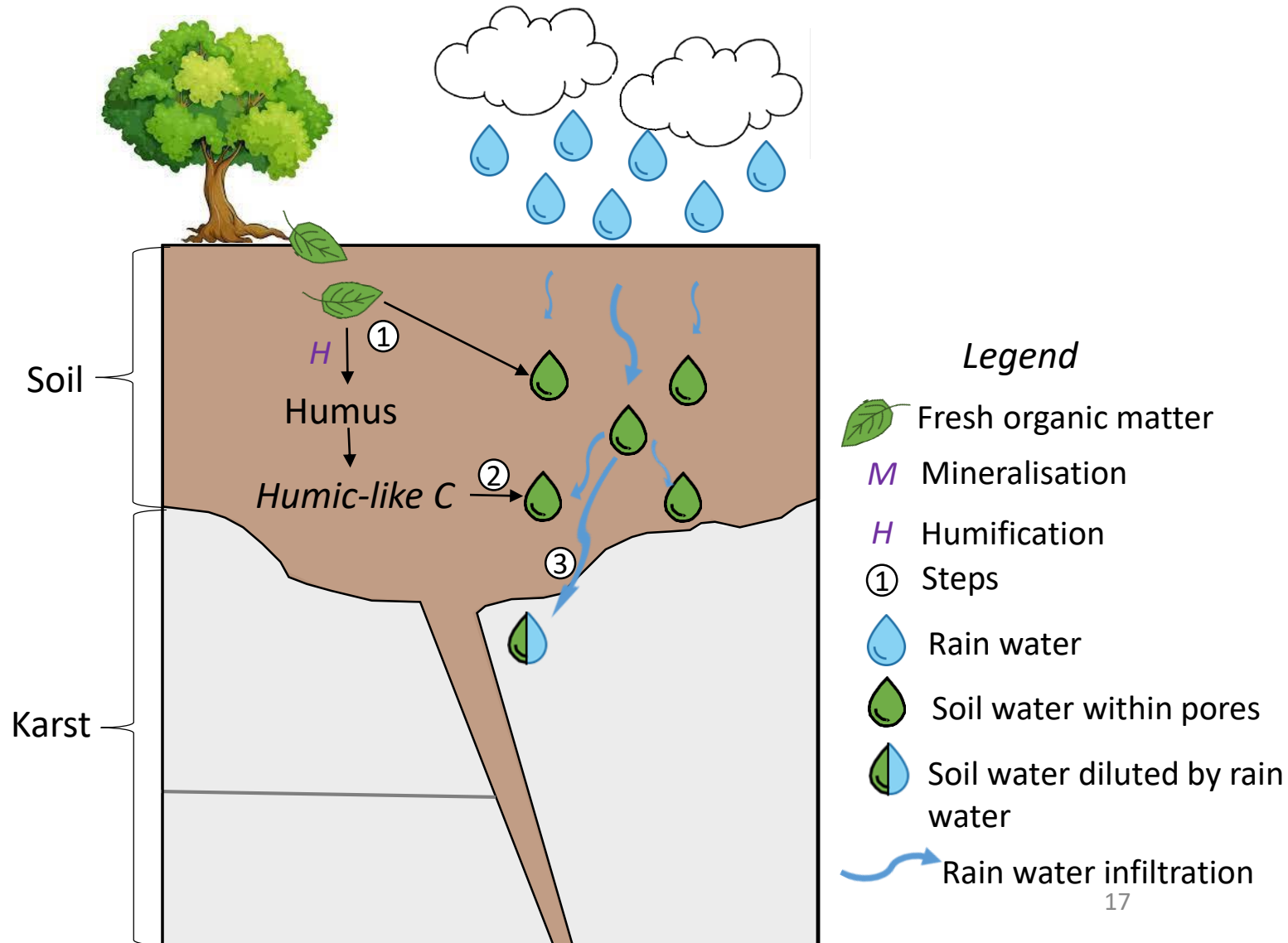


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

- Végétation = source de matière organique
- Estimation de la quantité de matière organique dans l'eau par le TOC
- Humic-like C dérivent de la lignine → source = sol
- Protein-like (tyrosine et tryptophane) dérivent de la dégradation de la matière organique

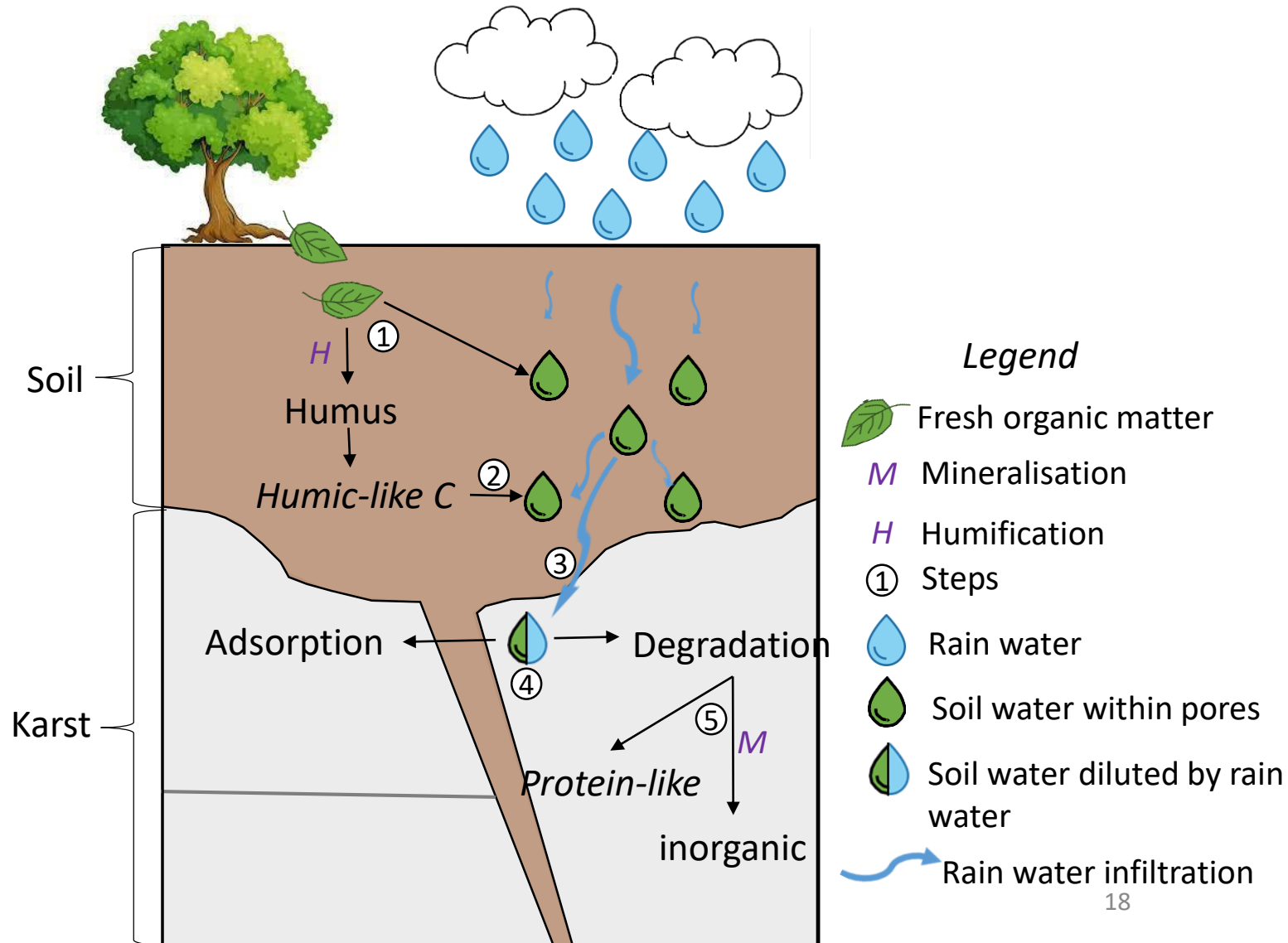


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

- Végétation = source de matière organique
- Estimation de la quantité de matière organique dans l'eau par le TOC
- Humic-like C dérivent de la lignine → source = sol
- Protein-like (tyrosine et tryptophane) dérivent de la dégradation de la matière organique
- Humic-like M élaboré à partir de produit de dégradation d'autres composés organiques

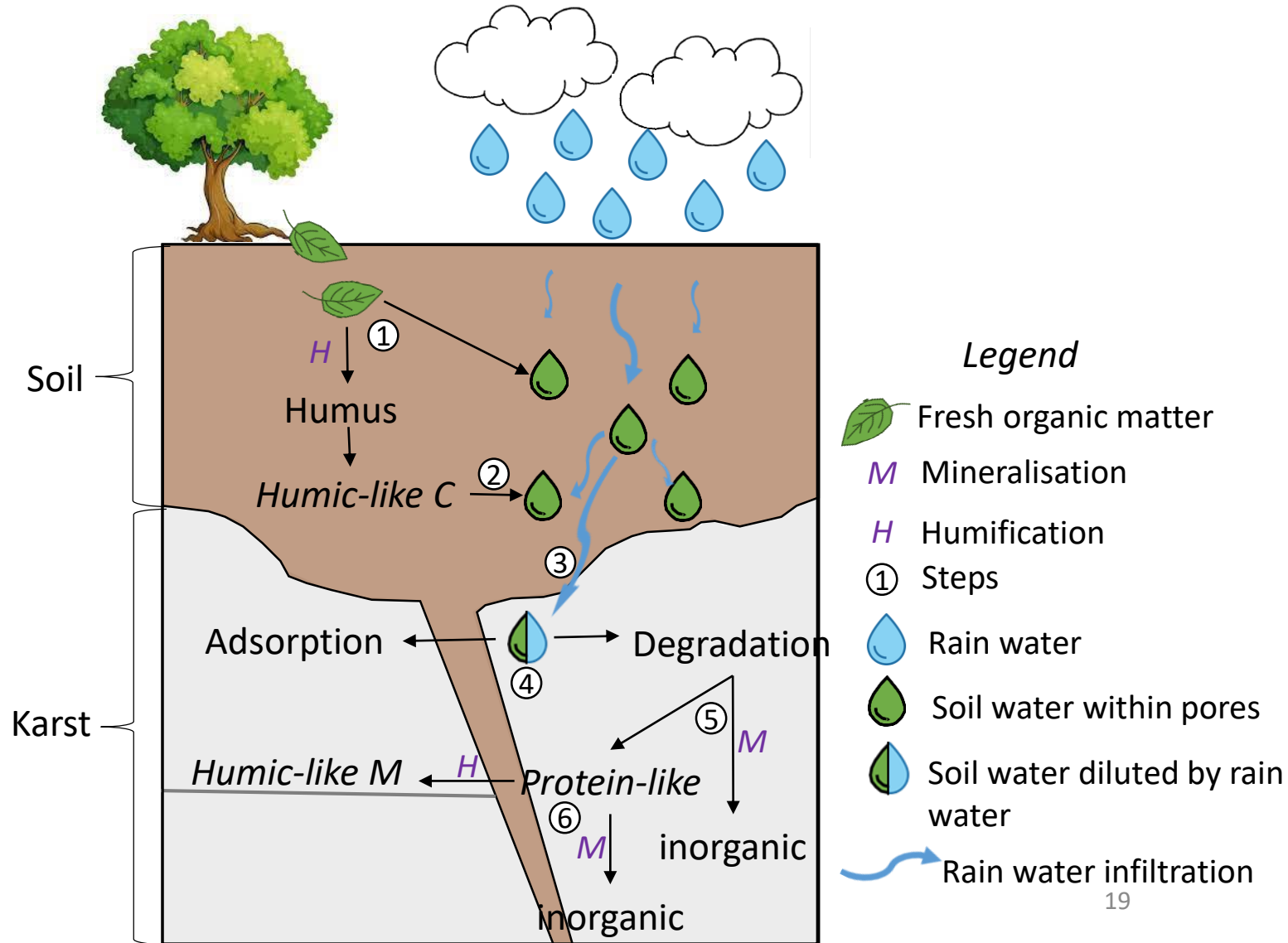


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

- Végétation = source de matière organique
- Estimation de la quantité de matière organique dans l'eau par le TOC
- Humic-like C dérivent de la lignine → source = sol
- Protein-like (tyrosine et tryptophane) dérivent de la dégradation de la matière organique
- Humic-like M élaboré à partir de produit de dégradation d'autres composés organiques

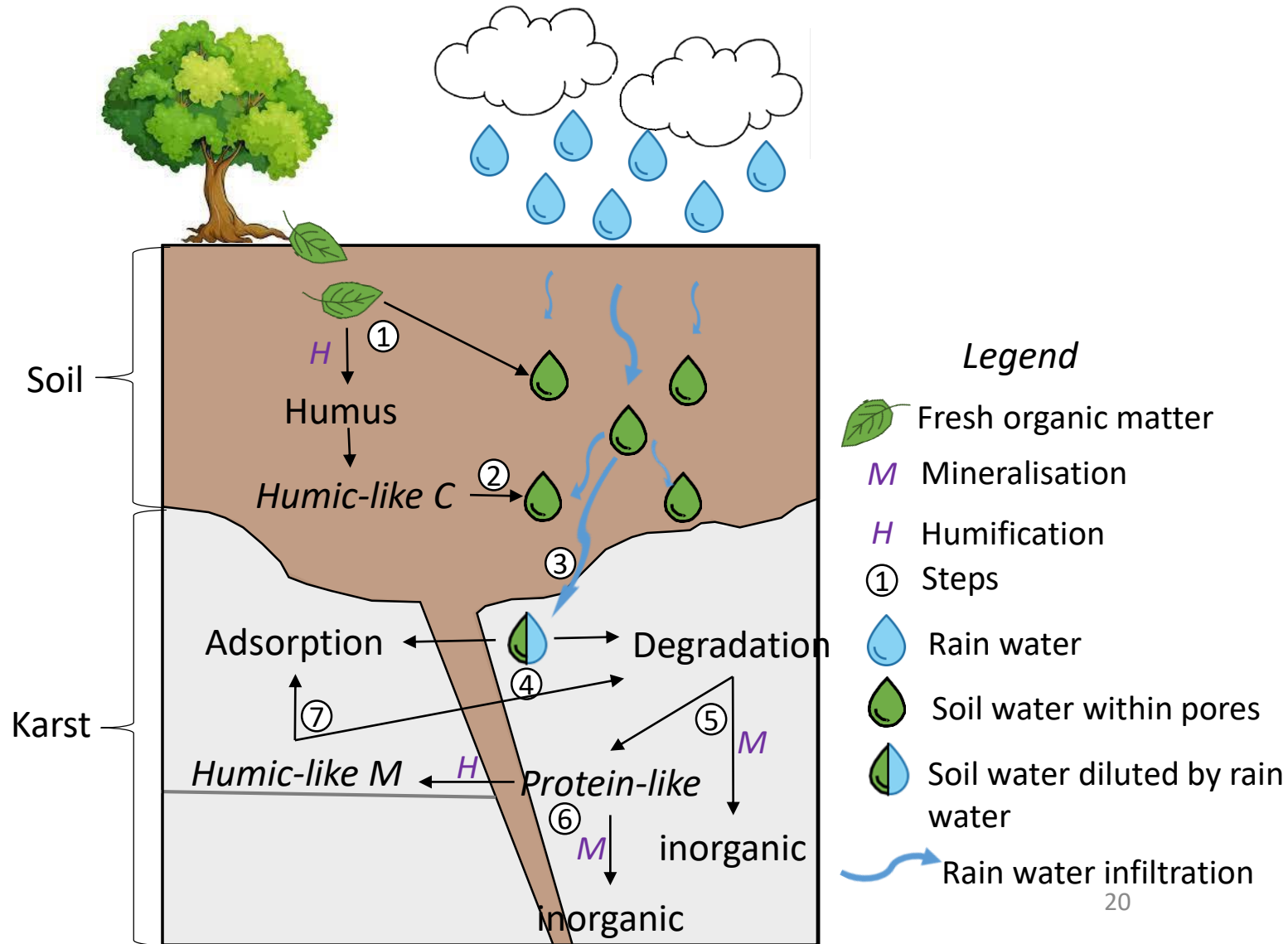


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

Ce schéma implique qu'une eau :

- « récente » contient uniquement humic-like C
- d'âge moyen contient des humic-like C et des protein-like
- « ancienne » contient des humic-like C, protein-like et des humic-like M

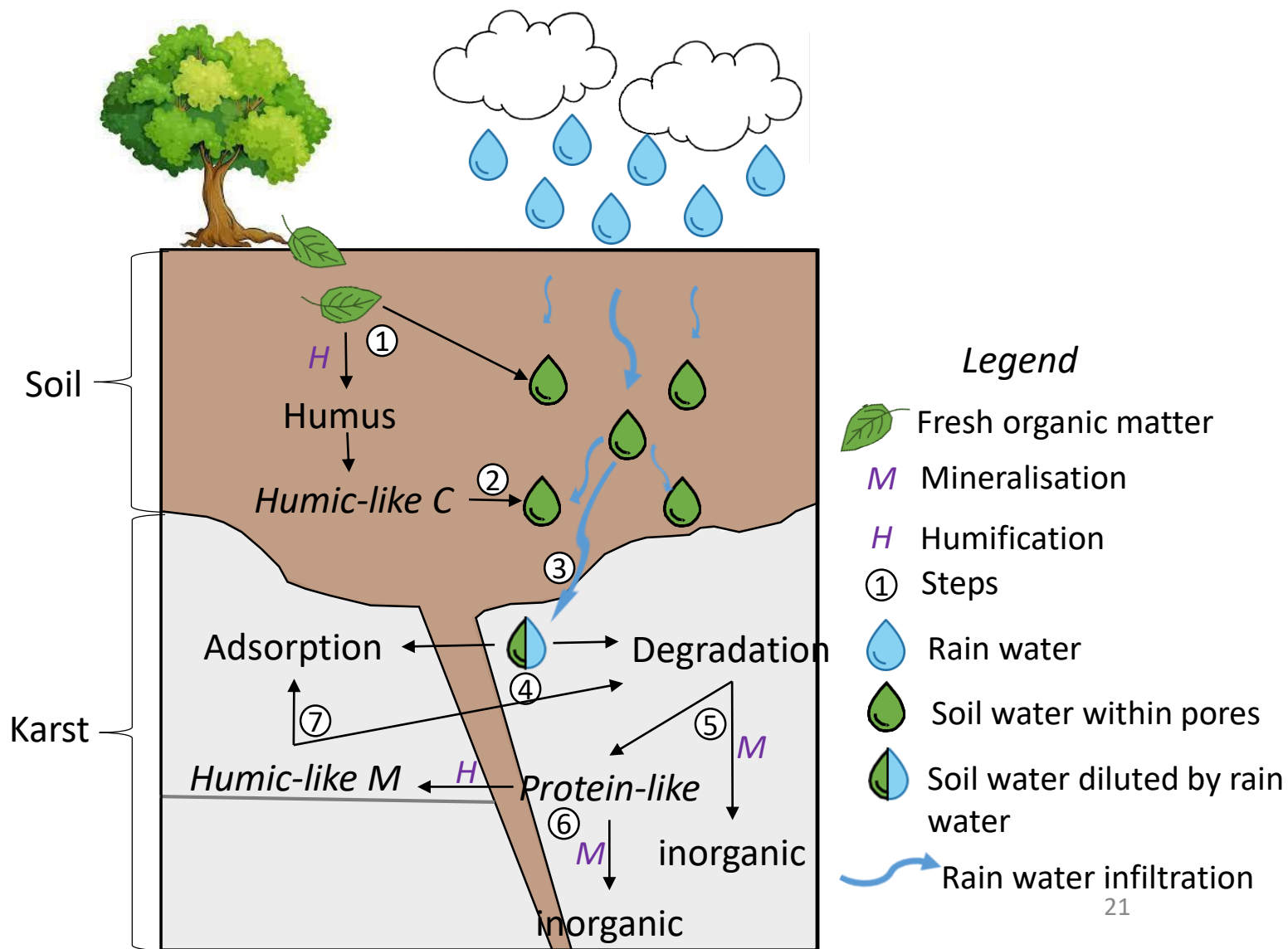


Schéma conceptuel des sources de matière organique fluorescente et de leurs transformations au LSBB

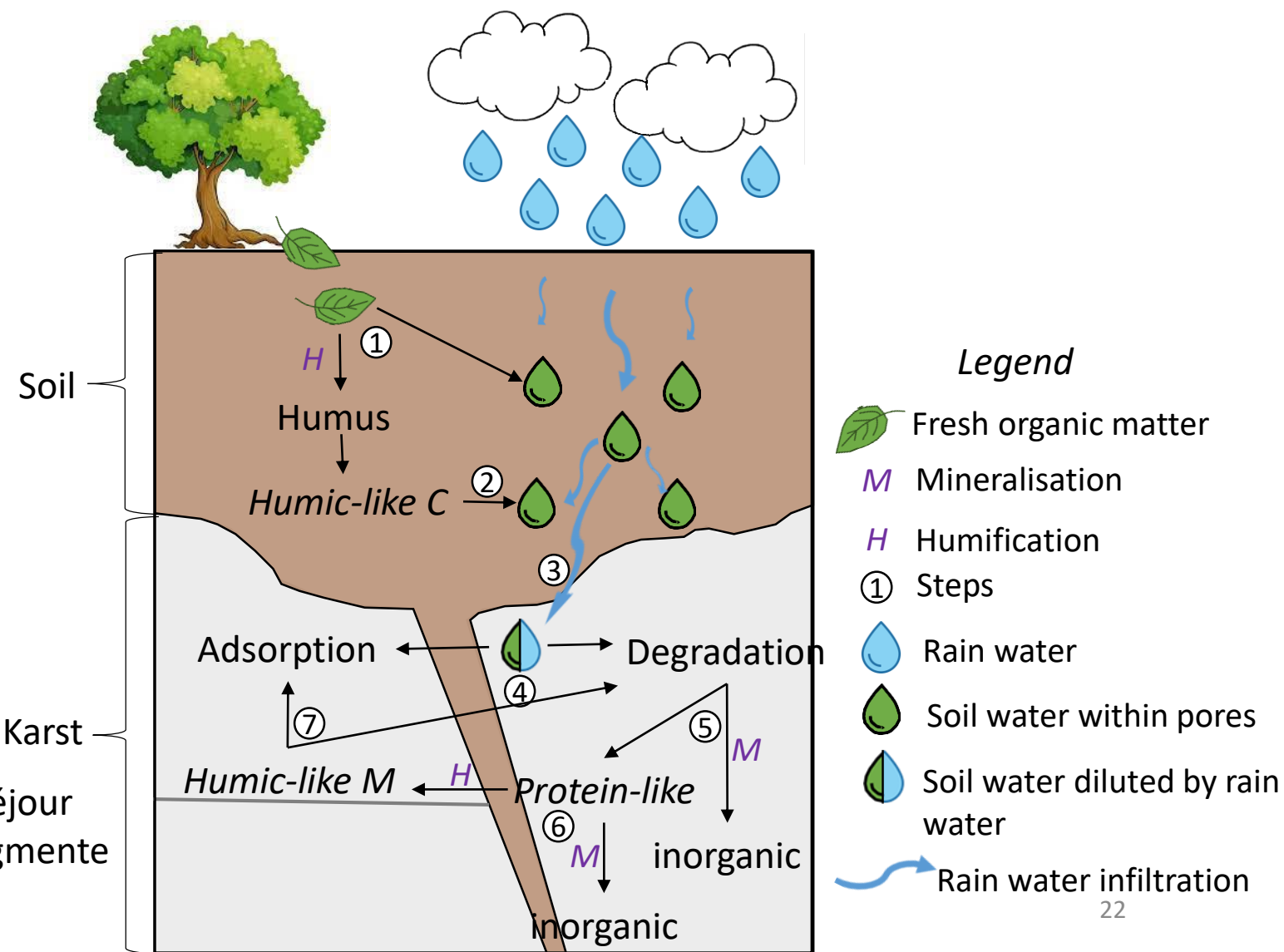
Ce schéma implique qu'une eau :

- « récente » contient uniquement humic-like C
- d'âge moyen contient des humic-like C et des protein-like
- « ancienne » contient des humic-like C, protein-like et des humic-like M

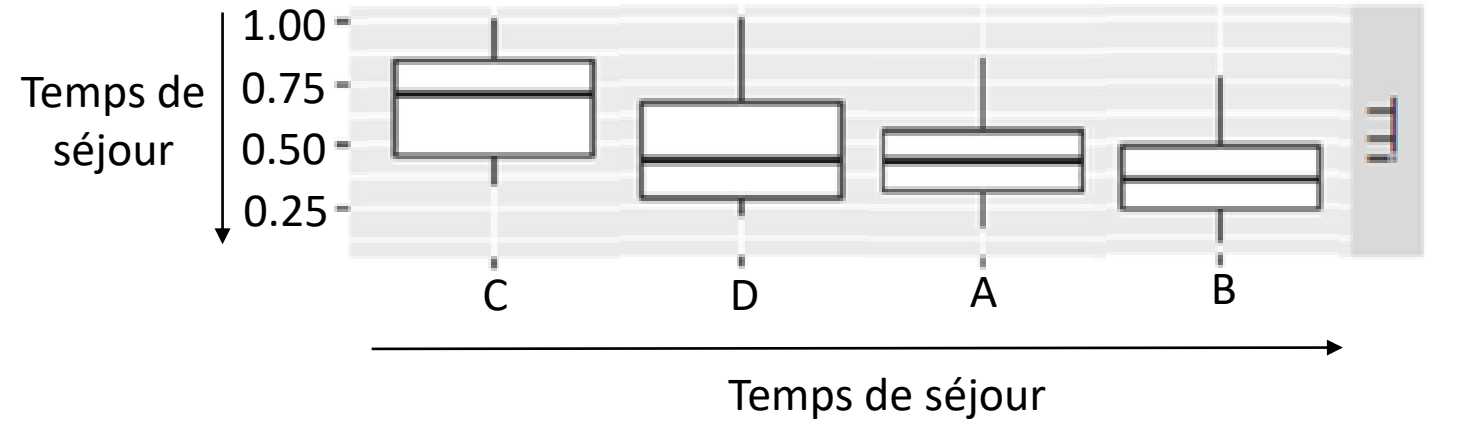
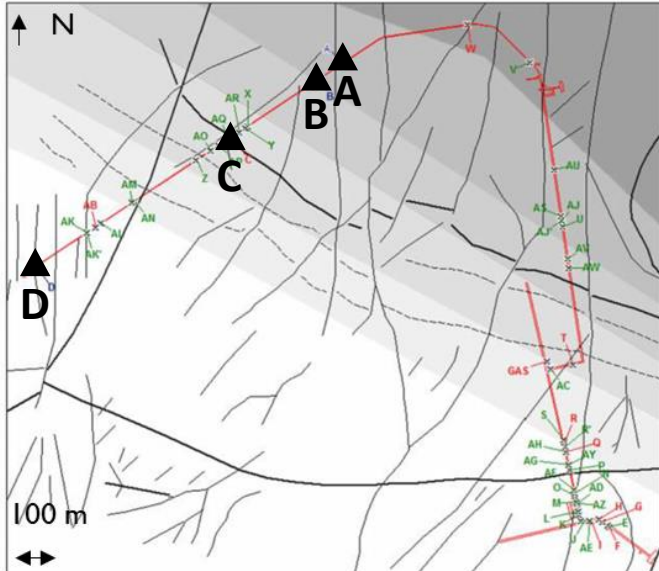
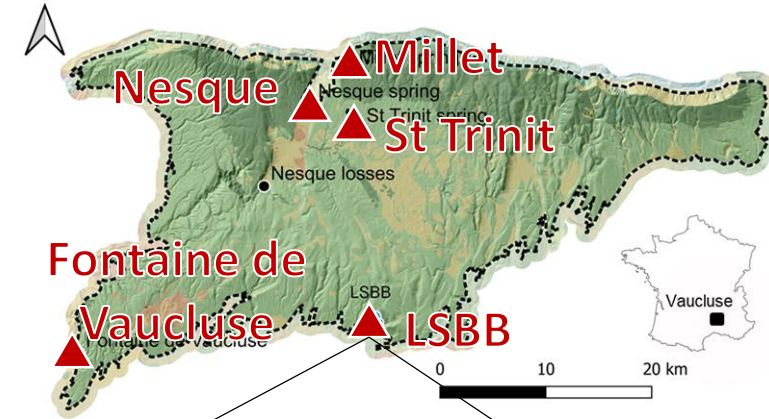
Diminution du TOC

$$TTi = \frac{\text{Humic-like C}}{\text{Humic and protein like}}$$

Dans les sources : TTi augmente avec temps de séjour
 Au LSBB : TTi diminue quand temps de séjour augmente



TTi dans les eaux du LSBB



(d'après Barbel-Périneau et al., 2019; période 2002-2012)



Cohérence entre l'interprétation du TTI et le temps de séjour des travaux précédents

Conclusion

→ Indice de fluorescence permet de qualifier le temps de transit dans les karsts

Conclusion

→ Indice de fluorescence permet de qualifier le temps de transit dans les karsts



- Méthode de calcul de l'indice adaptée → T_{Ti} plutôt que HIX
- Interprétation dépend des sources de composés fluorescents et des processus de transformation de la matière organique → adapter à chaque source étudiée

Conclusion

→ Indice de fluorescence permet de qualifier le temps de transit dans les karsts



- Méthode de calcul de l'indice adaptée → TTI plutôt que HIX
- Interprétation dépend des sources de composés fluorescents et des processus de transformation de la matière organique → adapter à chaque source étudiée



Temps de transit quantitatif ?

- Comparaison avec des traceurs naturels quantitatifs (isotopes, ...)
- Collaboration avec des microbiologistes pour établir la cinétique de dégradation des composés organiques

Soutenance de thèse

Le 3 juillet 2023, à 14h30

(Sous réserve d'autorisation par les rapporteurs)

- A Montpellier et en visioconférence

