



Fonctionnalités des cours d'eau en tête de bassin versant

Mikaël Le Bihan - Direction Bretagne, Pays de la Loire de l'AFB



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

1 Décembre 2017

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**





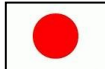

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

Définition d'une tête de bassin versant

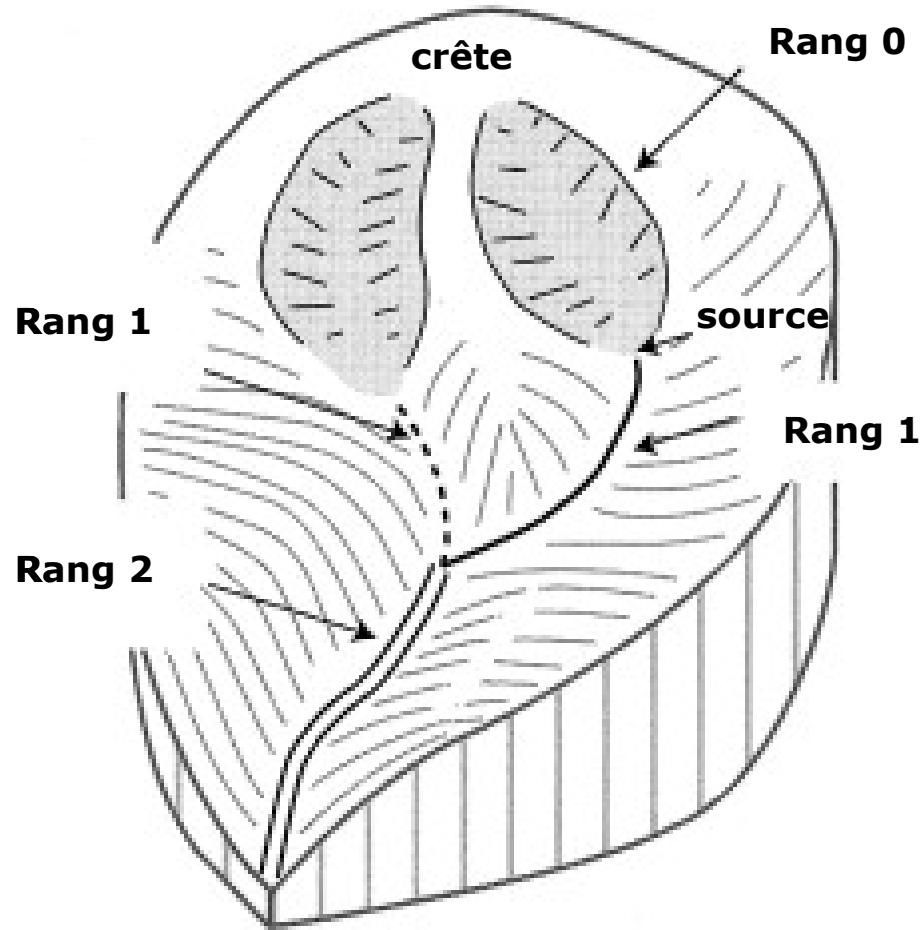



Qu'est ce qu'un cours d'eau en tête de bassin versant ?

- Extrémité amont du réseau hydrographique
- Nombreuses définitions techniques existantes

Critères	Description	Auteurs
   Superficie du BV	< 2 km ² < 10 km ² (TPME de la DCE) < 50 km ²	Adams & Spotila, 2005* Brummer & Montgomery, 2003 ; MacDonald and Coe, 2007 Meyer <i>et al.</i> , 2003
 Gabarit du lit mineur	généralement inférieure à 1 mètre de large	Wipfli <i>et al.</i> , 2007*
	généralement inférieure à 2 mètre de large	AERM, 2009*
 Hydromorphologie	secteur à l'amont de « la zone de sédimentation dominante	Uchida <i>et al.</i> , 2005*
Hydrologique	la tête de bassin s'arrête quand c'est le ruisseau qui alimente la zone humide	Touchart, 2006
 Hydrographique	Rang de Strahler 1 à 3 Rang de Strahler 1 à 2	Strahler, 1952 Vannote <i>et al.</i> , 1980

Qu'est ce qu'un cours d'eau en tête de bassin versant ?



Définition des rangs 0
(zones de sources)
comme les aires
d'alimentation directes
des cours d'eau (Benda
 et al., 2005*)

Organisation du réseau hydrographique en tête de bassin (Benda *et al.*, 2005*)

Éléments de discussion sur les définitions utilisées

● Superficie de la tête de bassin versant :

- ✓ Analyse spatiale difficile à réaliser à large échelle



● Rang de Strahler des cours d'eau en tête de bassin versant :

- ✓ Extraction « relativement facile » des bases de données
- ✓ Ordination de Strahler très dépendante de l'échelle d'observation

-> linéaire de cours d'eau peut être sous-estimé de plus de 70 fois à l'échelle

1/500 000 par rapport à l'échelle 1 /24 000 (Meyer & Wallace, 2001)

> Aux Etats-Unis, ordre de Strahler décalé de 1 entre le 1/100 000 et le 1/25000

-> Ordre réel mesuré sur le terrain lui-même sous-estimé de 1 à 2 rangs par rapport

à l'échelle 1/24000 (Hughes & Omerik, 1981)

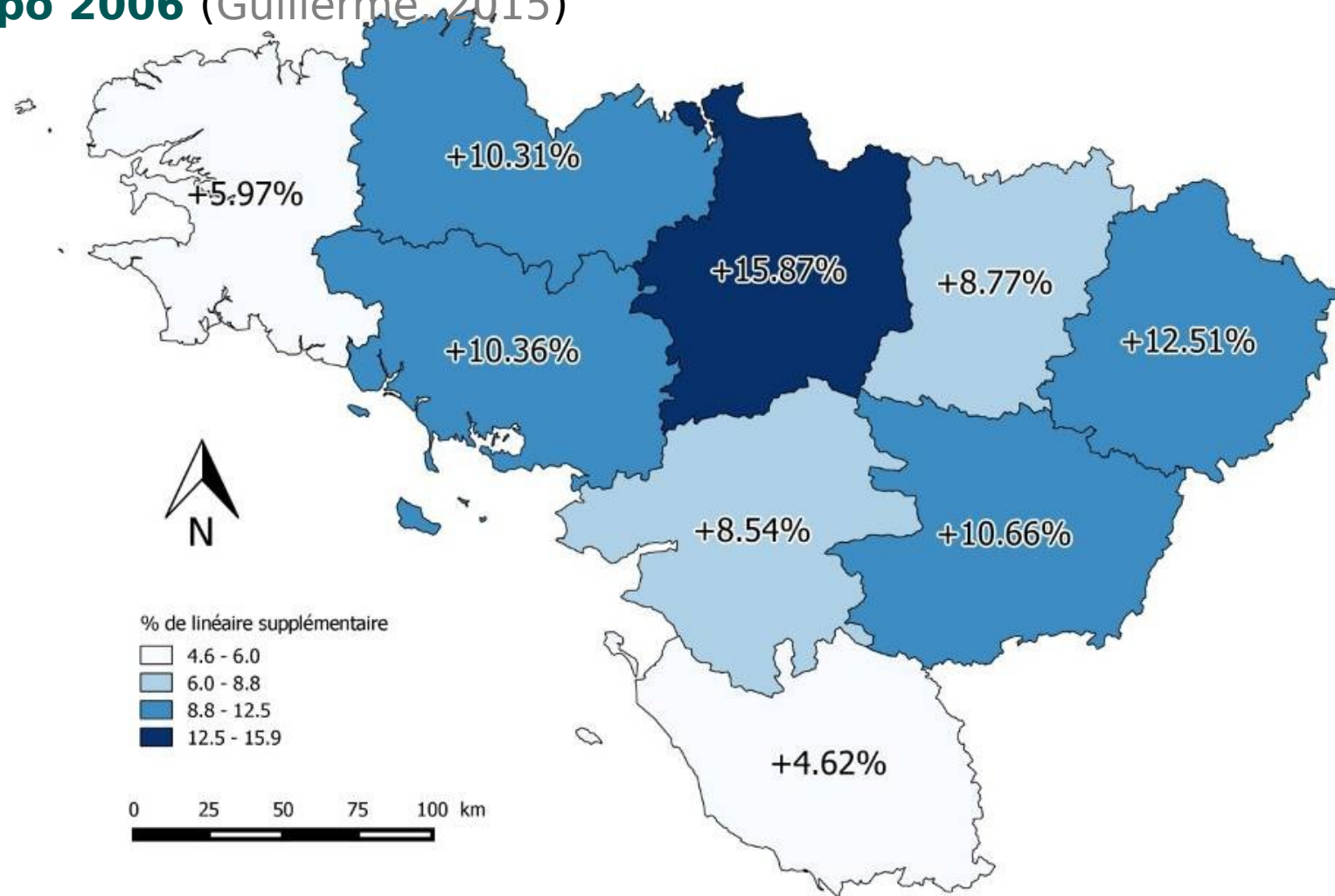


« Attribuer les vrais numéros »



Éléments de discussion sur les définitions utilisées

● Proportion de linéaire supplémentaire à la BD topo 2012 par département, à partir du Scan 25, de la BD Carthage et de la BD topo 2006 (Guillerme, 2015)



Éléments de discussion sur les définitions utilisées

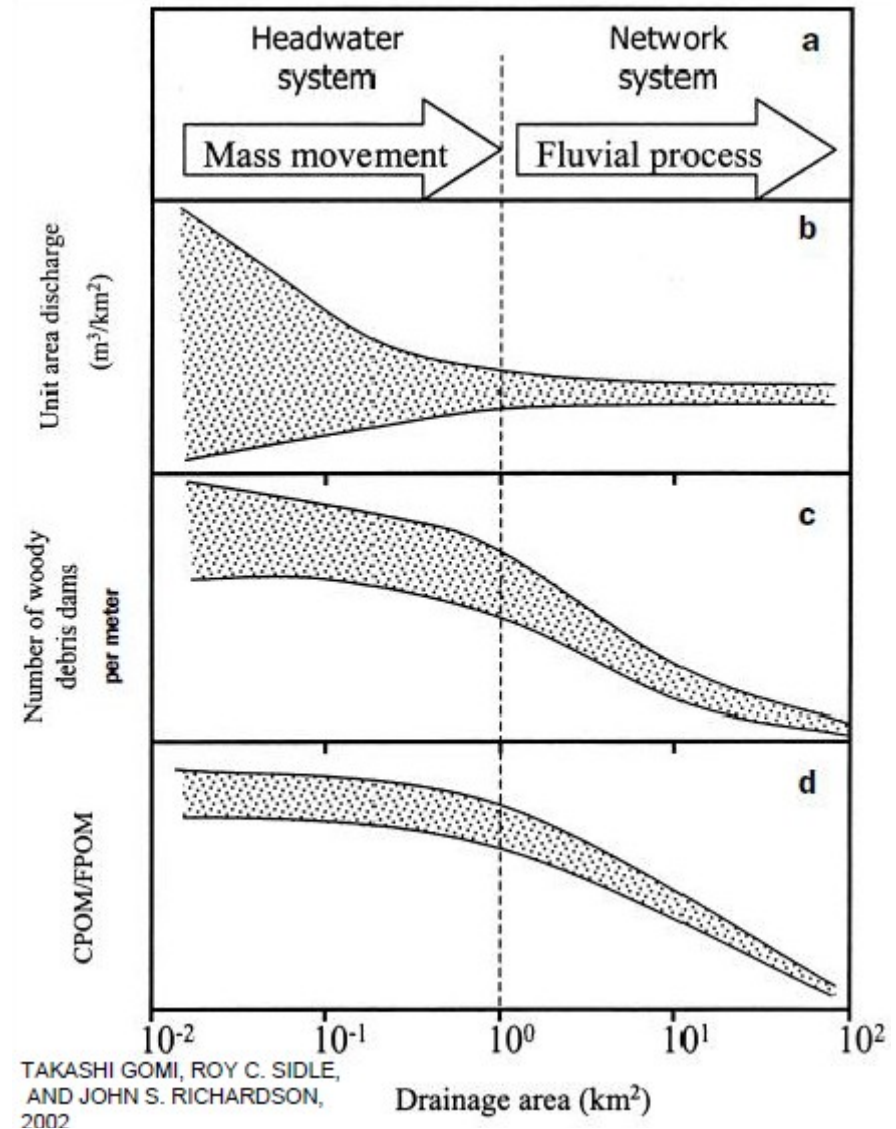
● **Limite aval difficile à définir** du fait de l'évolution graduelle et continue des processus fonctionnels de l'amont vers l'aval des bassins versants (Tixier *et al.*, 2012)

● **Limite aval définie notamment par la dominance des processus hétérotrophiques sur les processus autotrophiques** (Vannote, 1980) :

- ✓ Importance des apports terrestres
- ✓ Réduction de la lumière incidente par la végétation terrestre

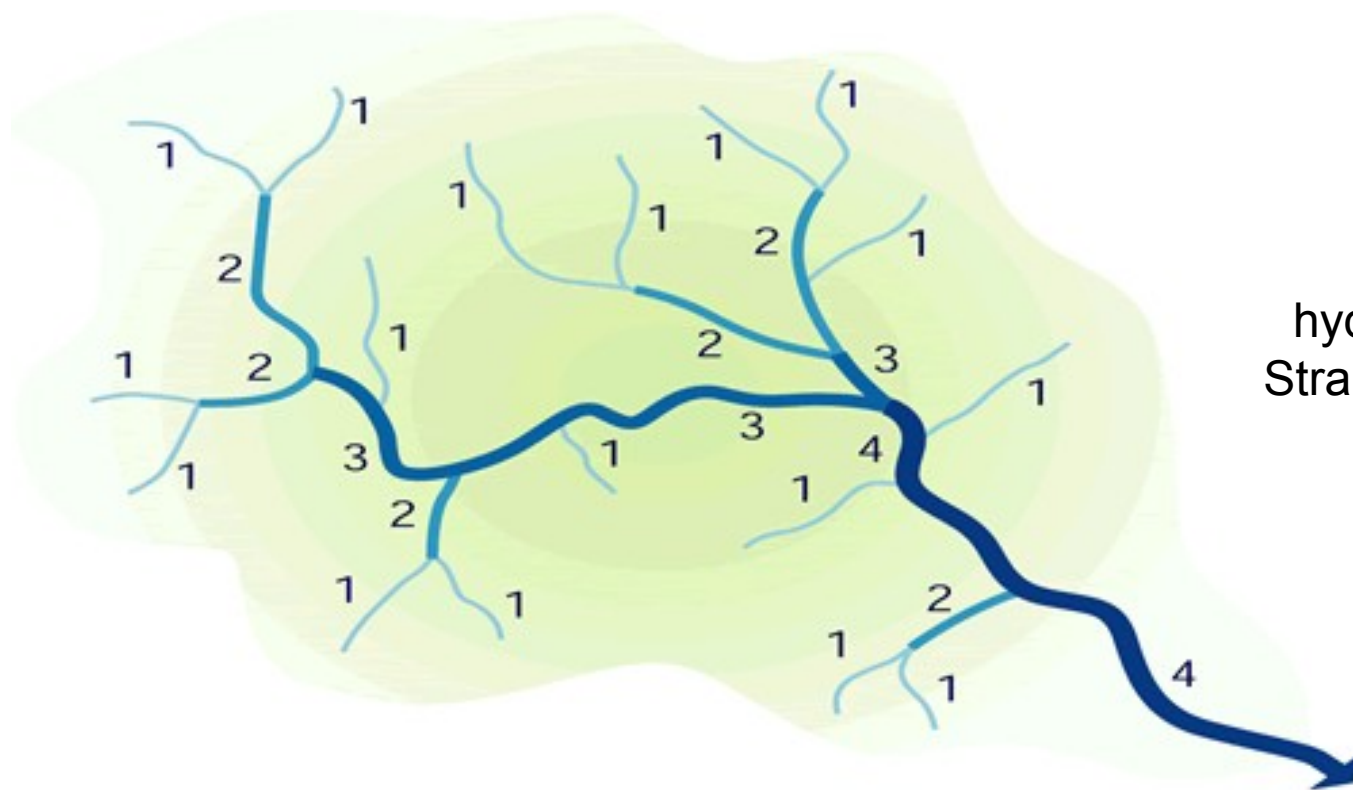


© Bossis, 2013



Qu'est ce qu'un cours d'eau en tête de bassin versant ?

- ● Cours d'eau de rang de Strahler 1 et 2 à l'échelle 1 : 25 000



Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009*)

- Jusqu'aux zones de source avec leurs zones humides associées
- Cours d'eau généralement de largeur inférieure à 2 mètres

Fonctionnalités des têtes de bassin versant



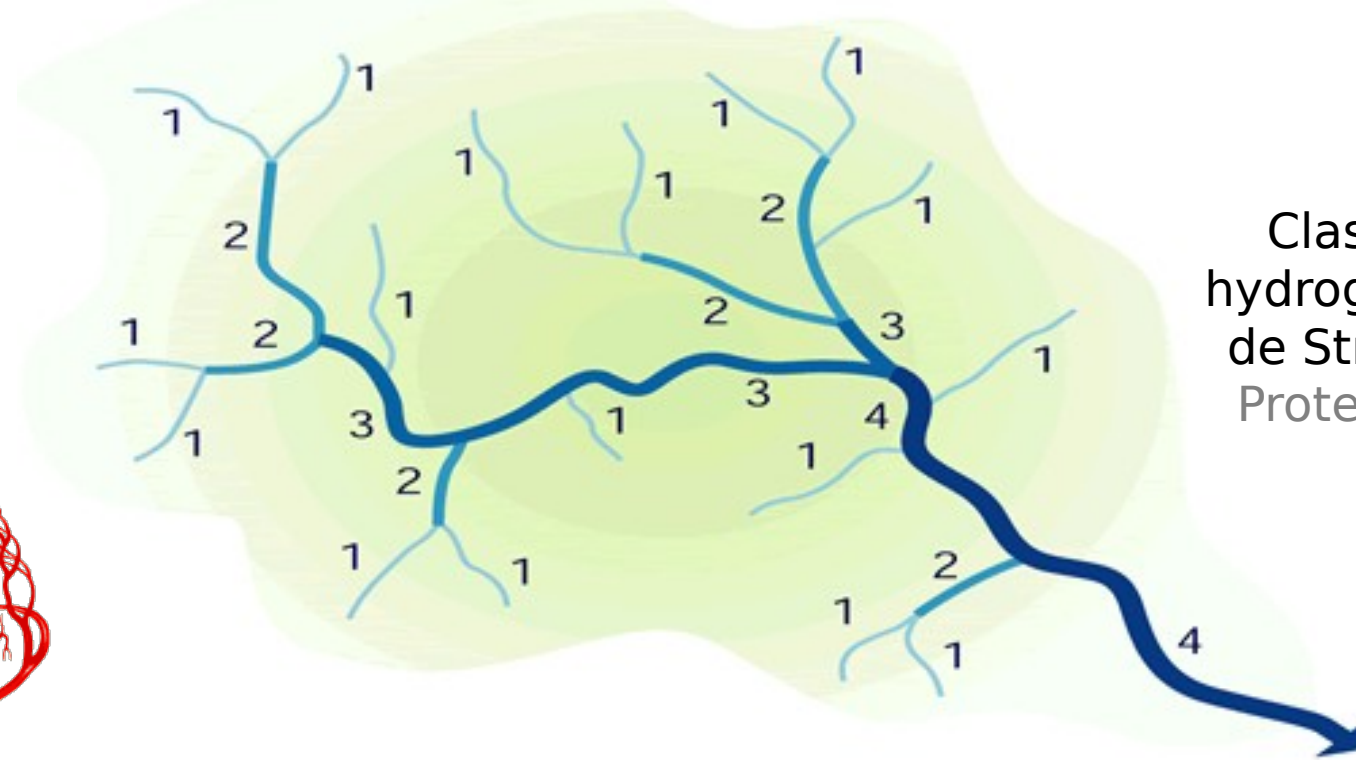


Quelle importance???

Schwab, 2009

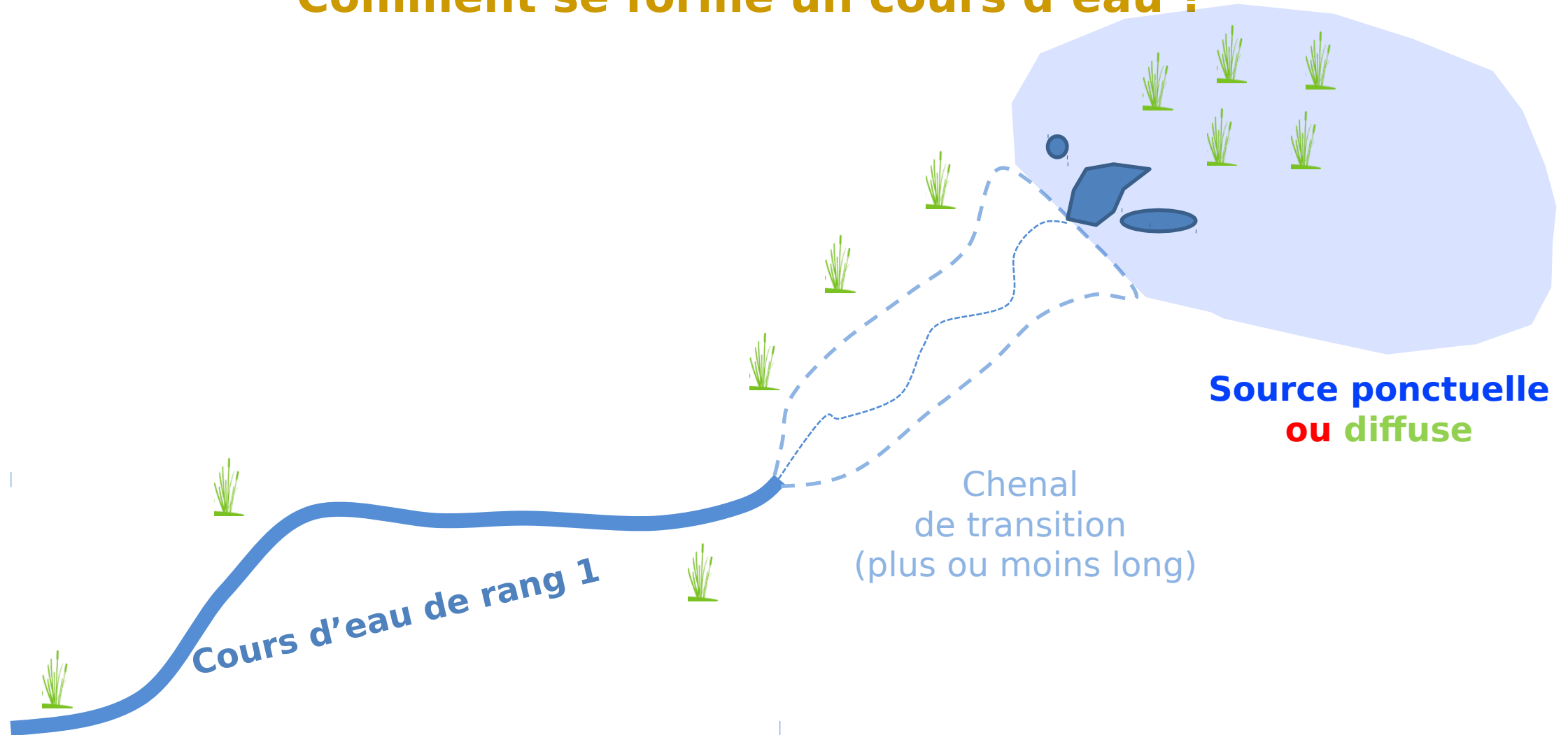
Le linéaire des cours d'eau en tête de bassin versant

- **Les cours d'eau en tête de bassin versant** (rangs de Strahler 1 et 2 à l'échelle 1 : 25 000) **représentent environ de 70 à 85 % de la longueur totale du réseau hydrographique** (Schumm, 1956 ; Shreve, 1969 ; Meyer & Wallace, 2001 ; Peterson *et al.*, 2001 ; Meyer *et al.*, 2003 ; Cami *et al.*, 2003 ; Bards *et al.*, 2005)



Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009*)

Comment se forme un cours d'eau ?



Source ponctuelle
ou diffuse

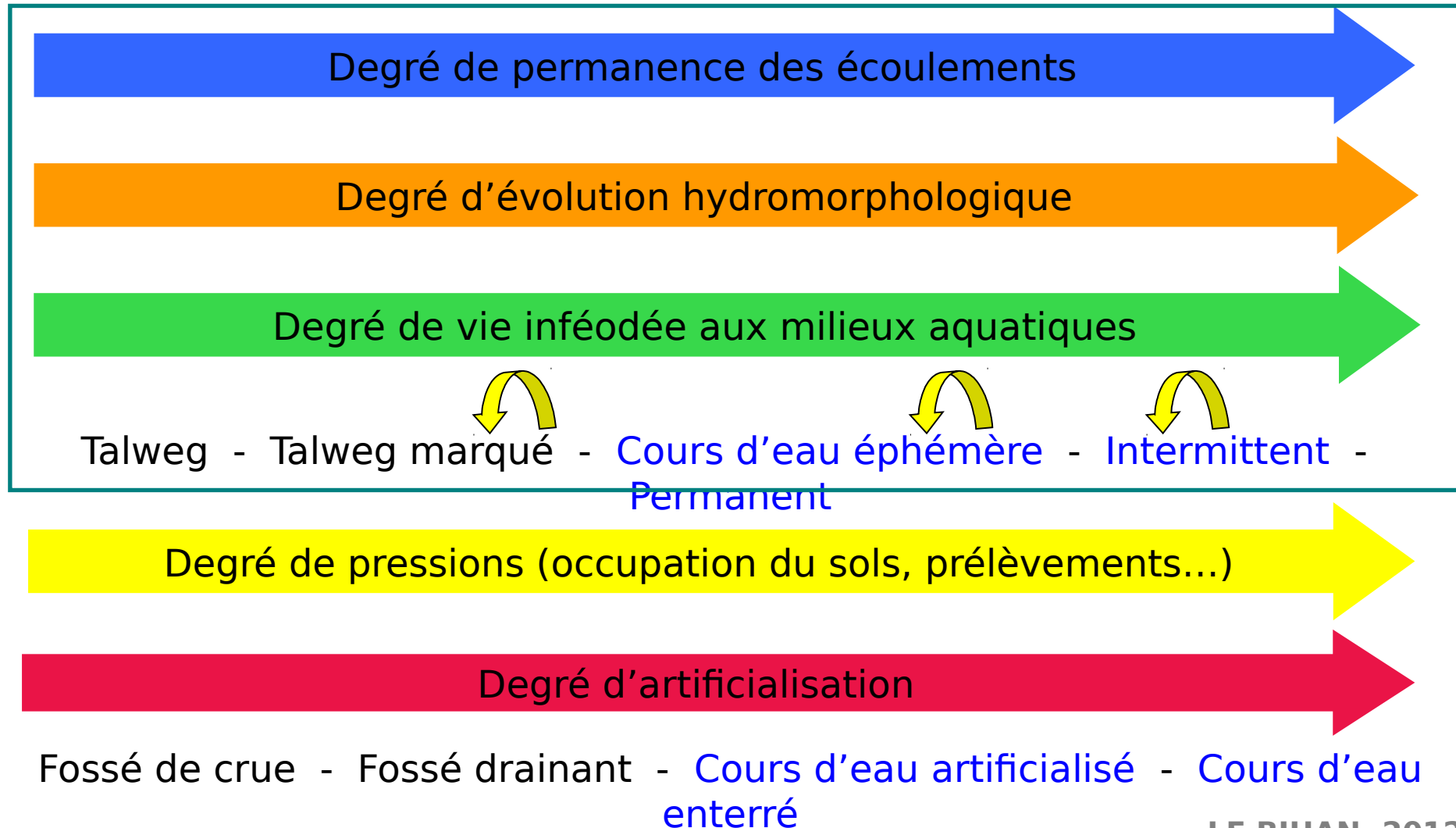
Chenal
de transition
(plus ou moins long)

Cours d'eau de rang 1

● Lorsque les écoulements superficiels sont suffisamment concentrés pour produire de l'érosion et creuser un lit aux bordures distinctes (Mac Donald & Coe, 2007)

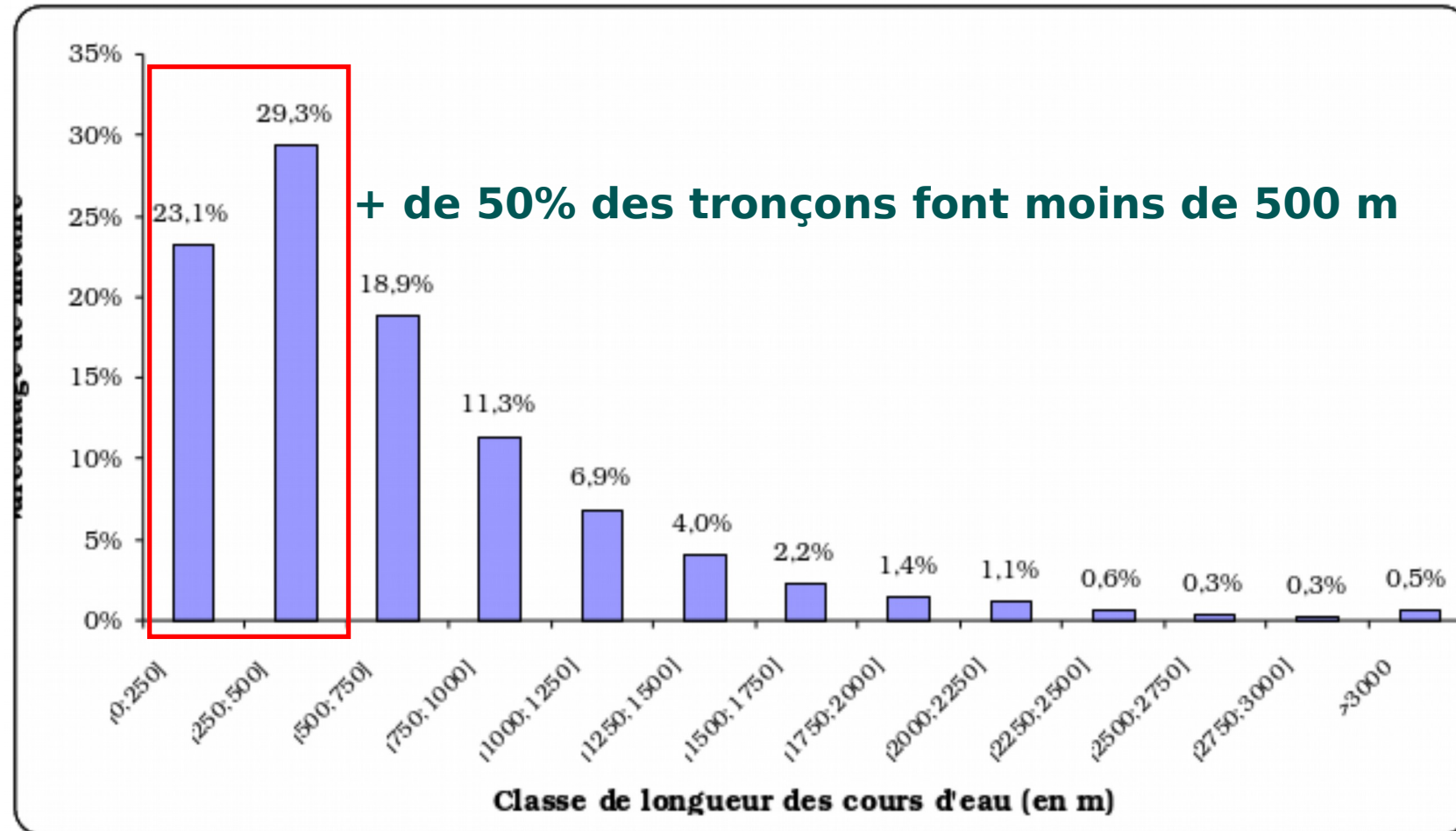
Qu'est-ce qu'un cours d'eau ?

Degré d'évolution fonctionnelle des éléments du réseau hydrographique selon leurs statuts



Le linéaire des cours d'eau en tête de bassin versant

- **Un linéaire cumulé important mais des tronçons individuels de faible linéaire** (Le Bihan, 2009*)



Les zones humides en tête de bassin versant



● Caractéristiques de ces zones humides en tête de bassin

- ✓ Nombreuses zones humides (Janisch *et al.*, 2011*)
- ✓ Petites dimensions, zone humide individuelle de superficie souvent $< 100 \text{ m}^2$ (Janisch *et al.*, 2011*)

● Fonctions de ces zones humides



- ✓ Absorbent d'importantes quantités d'eau lors des évènements pluvieux (Mc Cartney *et al.*, 1998*)



- ✓ Soutien naturel aux écoulements à l'étiage (PNZH, 2012)



- ✓ Régulation de la température par l'apport d'eau froide (Kreutzweiser *et al.*, 2009 ; Janisch *et al.*, 2011*)



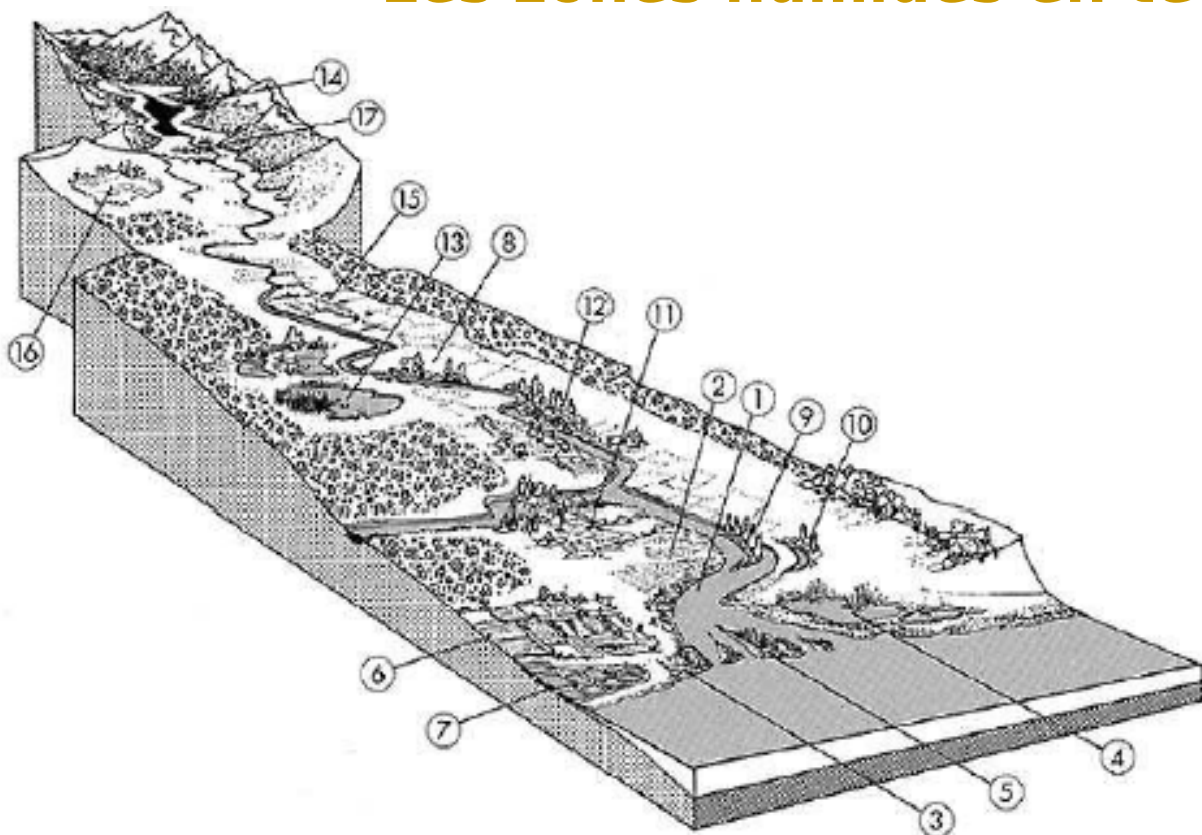
- ✓ Intérêt biologique (notamment amphibiens) (Campbell *et al.*, 2009*)



- ✓ Intérêt auto-épuration (PNZH, 2012)



Les zones humides en tête de bassin versant



1	Estuaires	9	Ilots
2	Prés salés ou schorres	10	Bras-Morts
3	Slikkes : vasière nue découverte à marée basse	11	Prairies inondables
4	Marais et lagunes côtiers	12	Ripisylves
5	Delta	13	Régions d'étangs
6	Marais agricoles aménagés	14	Lacs
7	Marais saumâtres aménagés	15	Prairies humides
8	Zones humides alluviales	16	Tourbières
17	Zones humides de bas-fonds		

Figure 1 : Localisation des types de zones humides dans un bassin versant (IFEN, 2011)

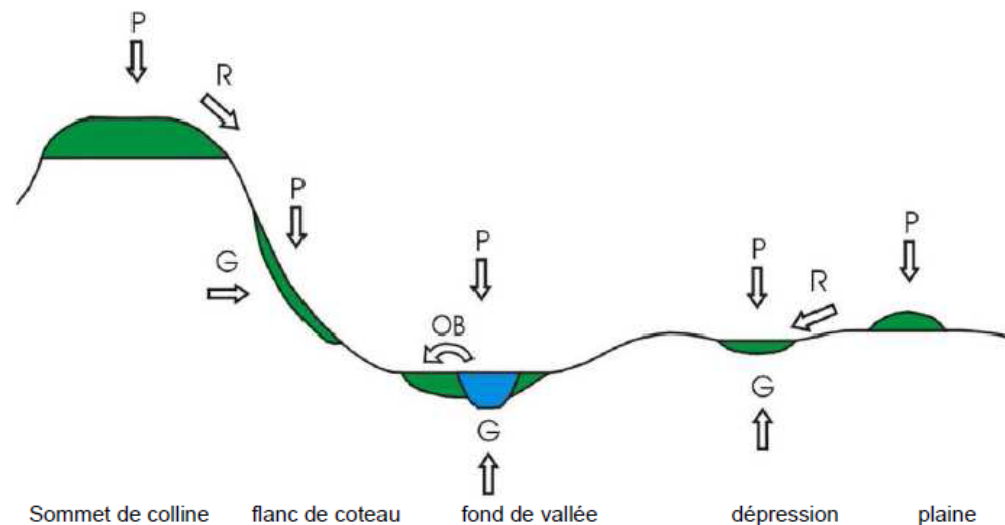


Figure 9 : Typologie des zones humides en fonction de la position topographique avec les mécanismes prédominants d'alimentation en eau ;

P=précipitation, R=ruissellement, G=eau souterraine, OB=expansion de crue

Apports

- 1 - Précipitation
- 2 - Ruissellement
- 3 - Inondation
- 4 - écoulement sub-surface
- 5 - Vidange de la nappe

Exports

- 6 - Evapotranspiration
- 7 - Drainage par le cours d'eau
- 8 - Recharge de la nappe

Stockage

- 9 - Zone de stockage

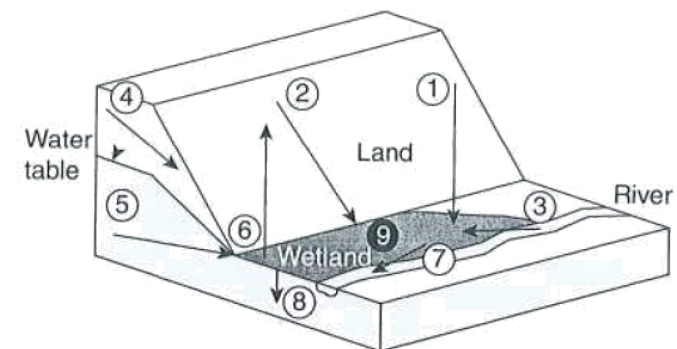


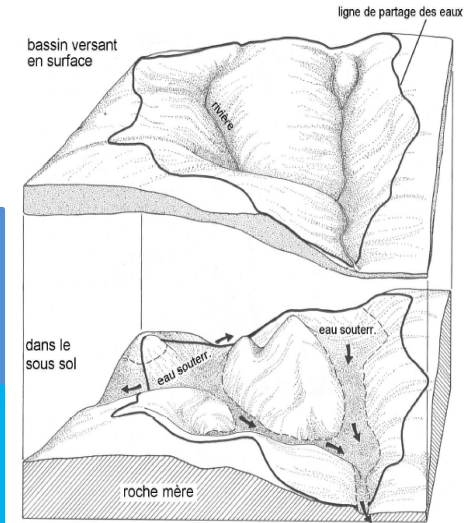
Figure 8 : Le bilan hydrologique d'une zone humide (Baker et al., 2009)

L'alimentation en eau des têtes de bassin versant

- **La notion de source** précisée dans le cadre de **cartographie des cours d'eau** (instruction du 3 Juin 2015, MEDD)

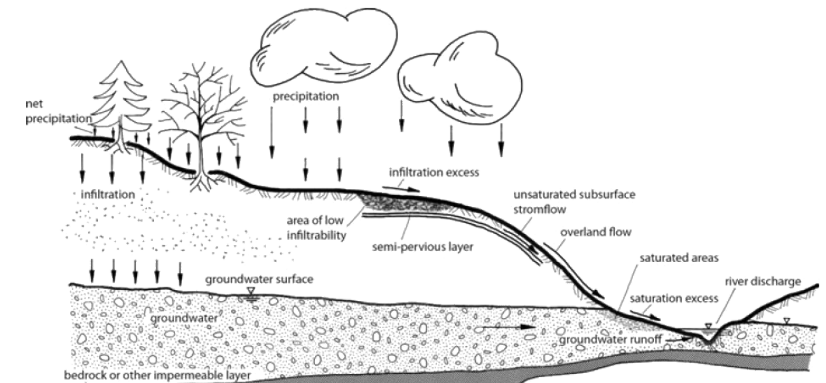
✓ Source = Source ponctuelle / Source diffuse
Source ponctuelle : à l'endroit où la nappe jaillit
-> aménagée (fontaine, lavoir, puit, mare, plan d'eau...) ou non aménagée

Source diffuse :
exutoire de zones humides diffuses (drainées ou non) / affleurement de nappe souterraine



- **L'alimentation en eau des têtes de bassin ne provient pas exclusivement de leurs sources principales** (Mathieu, 2010*)

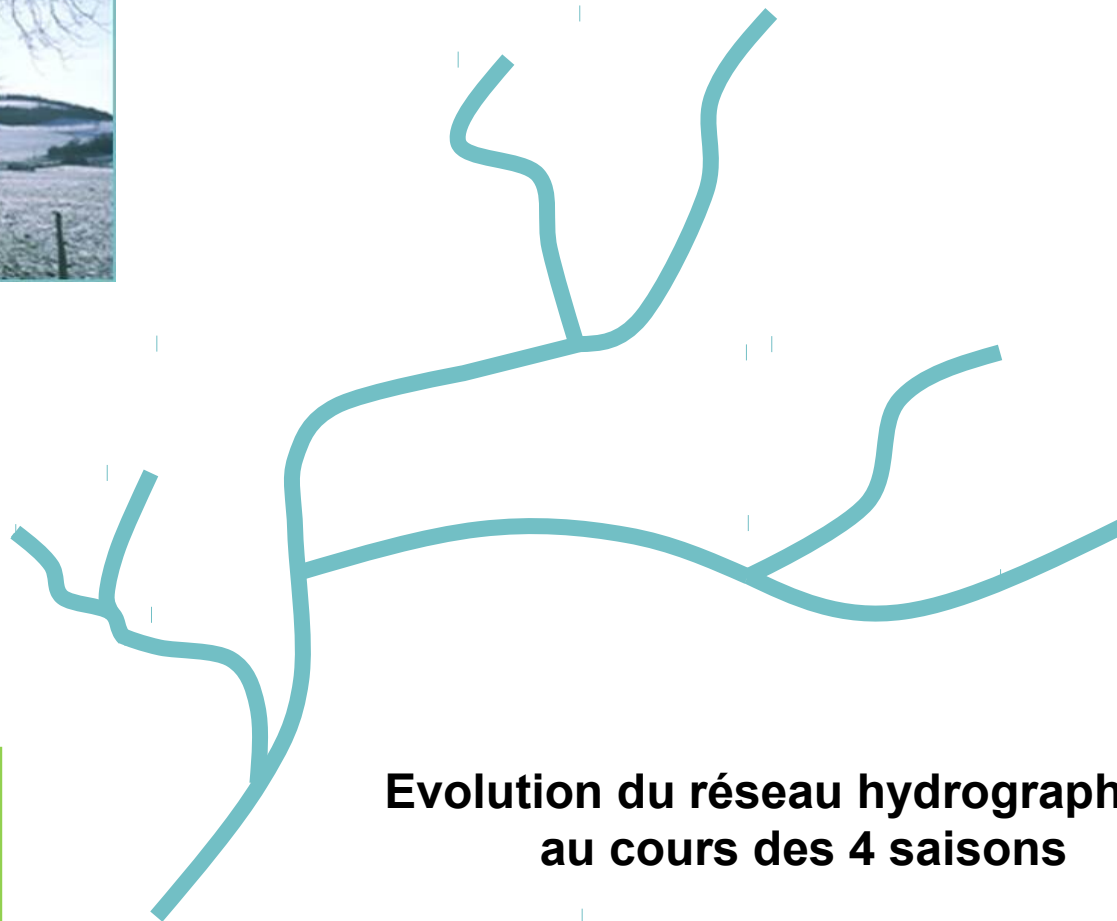
- ✓ Alimentation par des « micros-sources » latérales (ZH)
- ✓ Sur terrains imperméables, les eaux des cours d'eau en tête de bassin proviendraient des eaux de ruissellement et d'infiltration des terres amont
- ✓ Présence d'une nappe d'accompagnement non systématique



Bronstert *et al.*, 2012*

Les écoulements en tête de bassin peuvent être rythmés par l'intermittence

N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



**Evolution du réseau hydrographique
au cours des 4 saisons**

LE BIHAN, 2013



Les cours d'eau intermittents et éphémères reçoivent généralement moins de protections que les cours d'eau permanents (Iobson et al.

Le changement climatique et les têtes de bassin versant

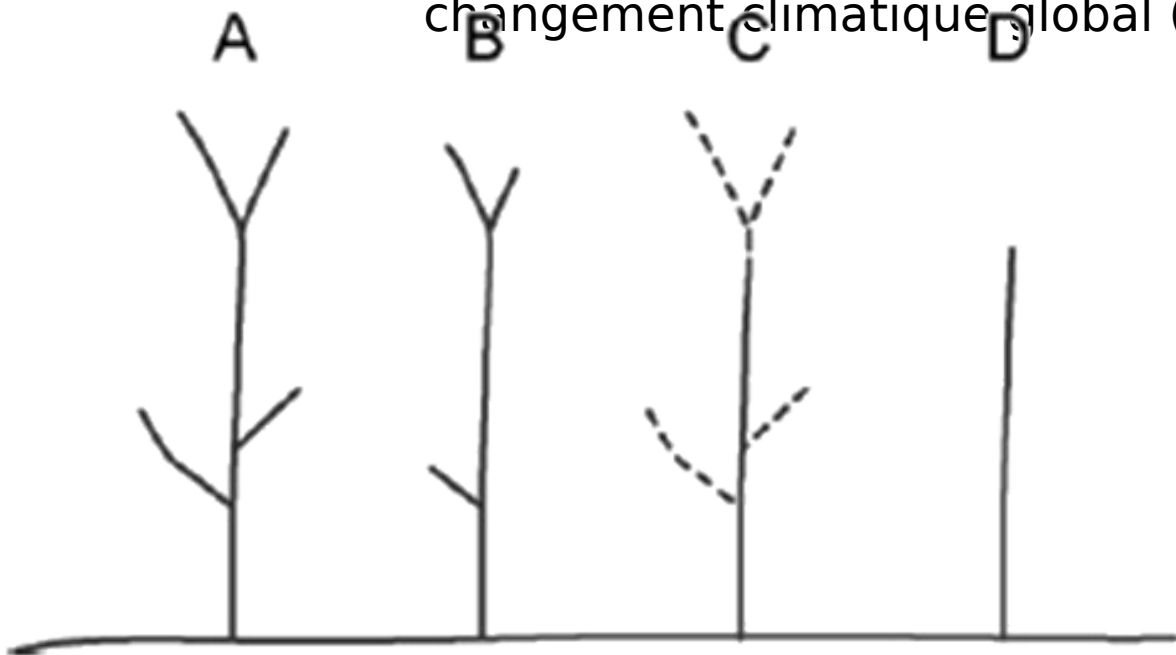
● Zones refuges de part la fraîcheur des eaux de sources

(Mathieu, 2010*)

● Sensibilité de ces écosystèmes au changement climatique

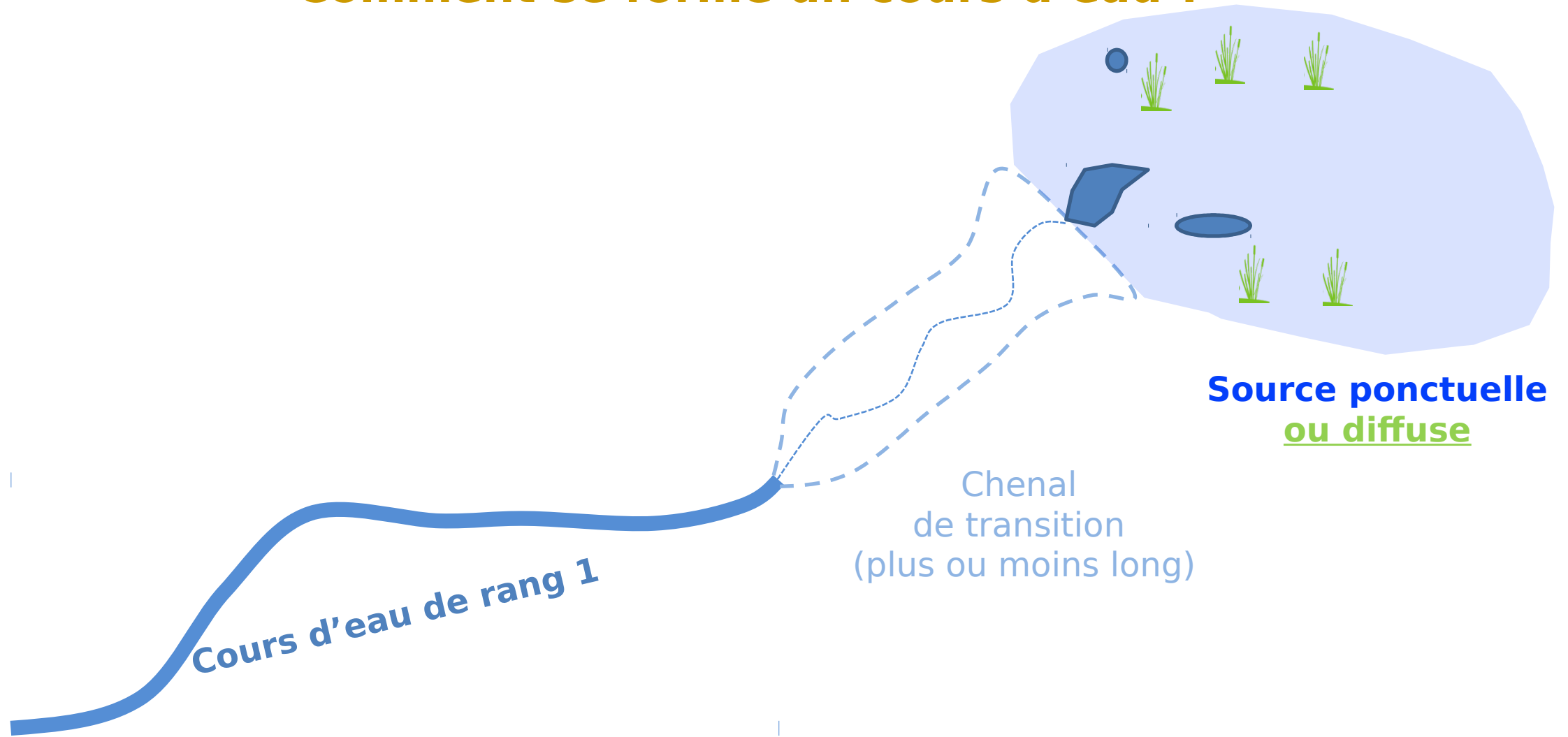
(Bishop *et al.*, 2008*)

- ✓ Exemple : Dans les régions montagneuses autrichiennes, les têtes de bassin sont particulièrement vulnérables à tous les aspects d'un changement climatique global (Hama *et al.*, 2006)



Réduction du linéaire de cours d'eau par diminution des précipitations
(Olson & Burnett, 2009*)

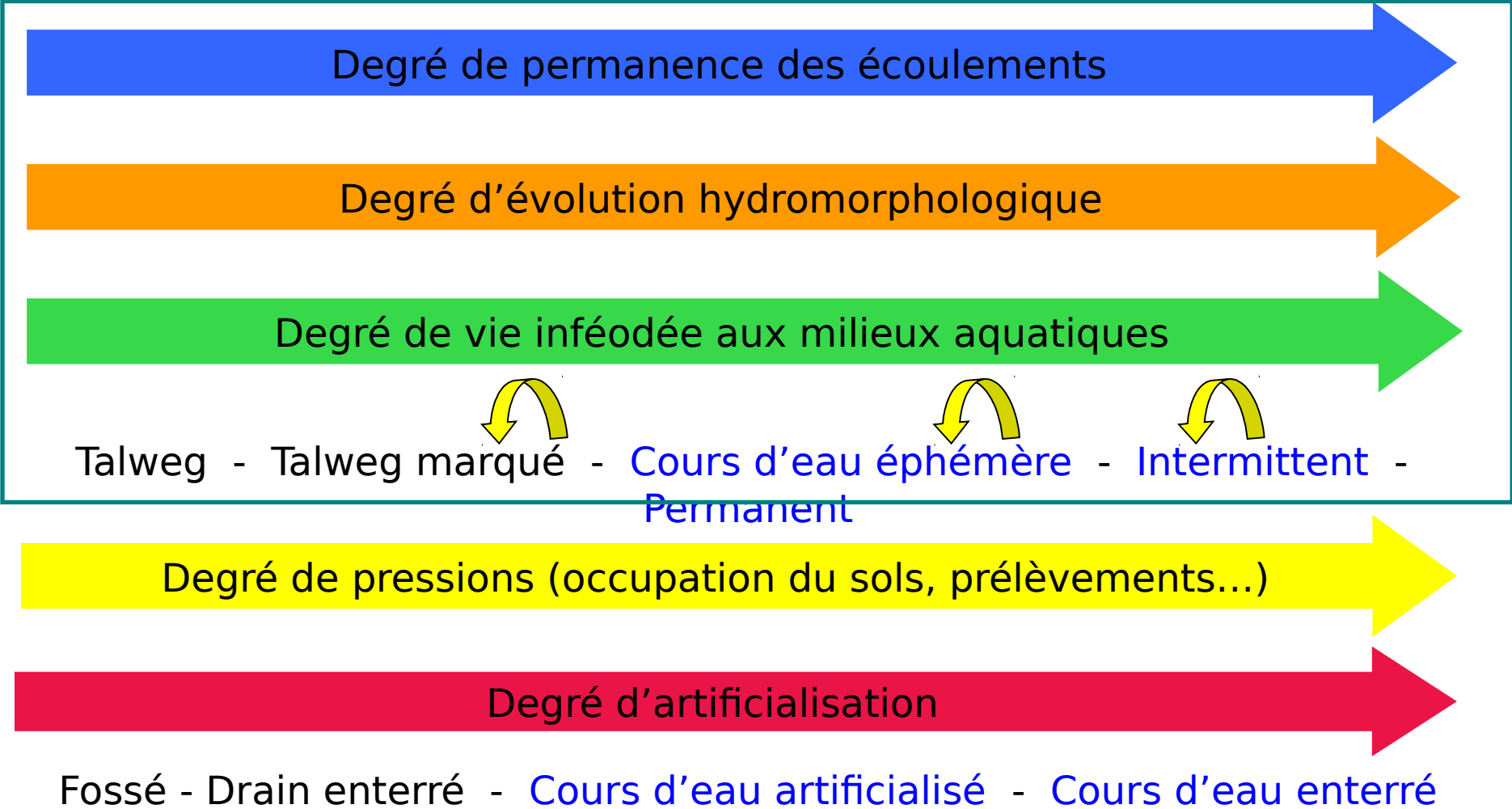
Comment se forme un cours d'eau ?



- Lorsque les écoulements superficiels sont suffisamment concentrés pour produire de l'érosion et creuser un lit aux bordures distinctes (Mac Donald & Coe, 2007)

Les différents types de réseau

Degré d'évolution fonctionnelle des éléments du réseau hydrographique selon leurs statuts

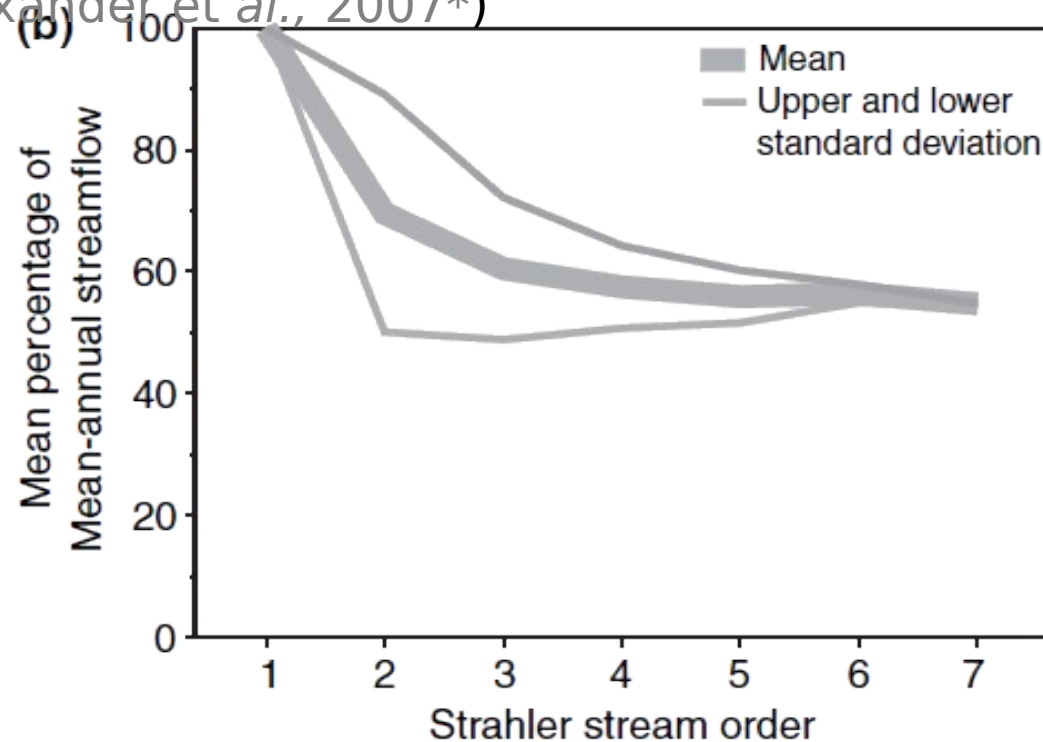


L'importance de l'alimentation en eau des têtes de bassin versant



Contributions des TBV aux flux hydrauliques

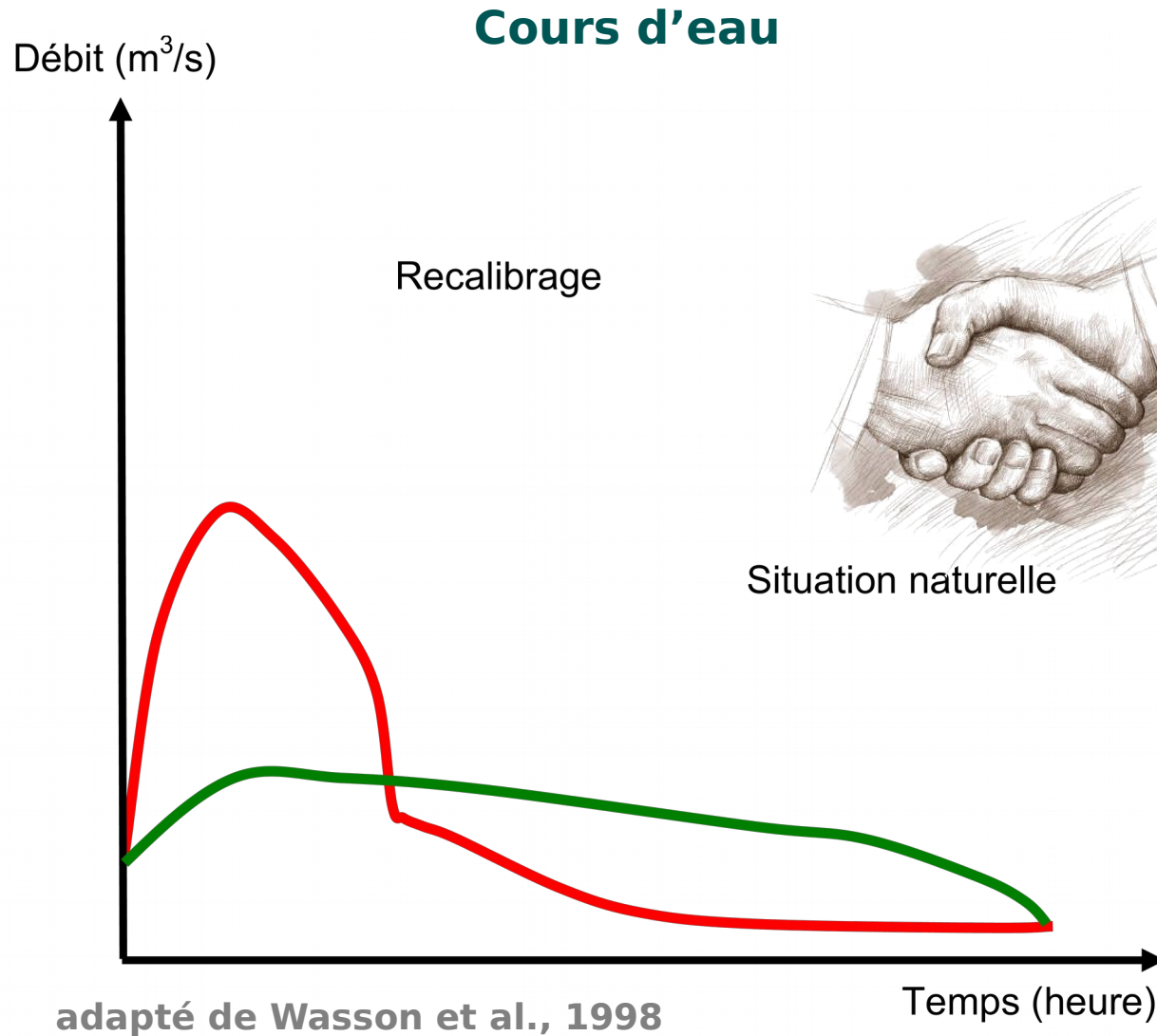
- ✓ Conditionnent quantitativement les ressources en eau de l'aval (Alexander *et al.*, 2007*)
- ✓ **50 à 70% de l'alimentation en eau des cours d'eau d'ordre supérieur** (ordre 3 à 7) provient des têtes de bassin versant d'ordre 1 et 2 (Alexander *et al.*, 2007*)



« **CAPITAL hydrologique** »



En bon état, le partenariat cours d'eau - zone humide régule les débits (crue, étiage)



Zones humides

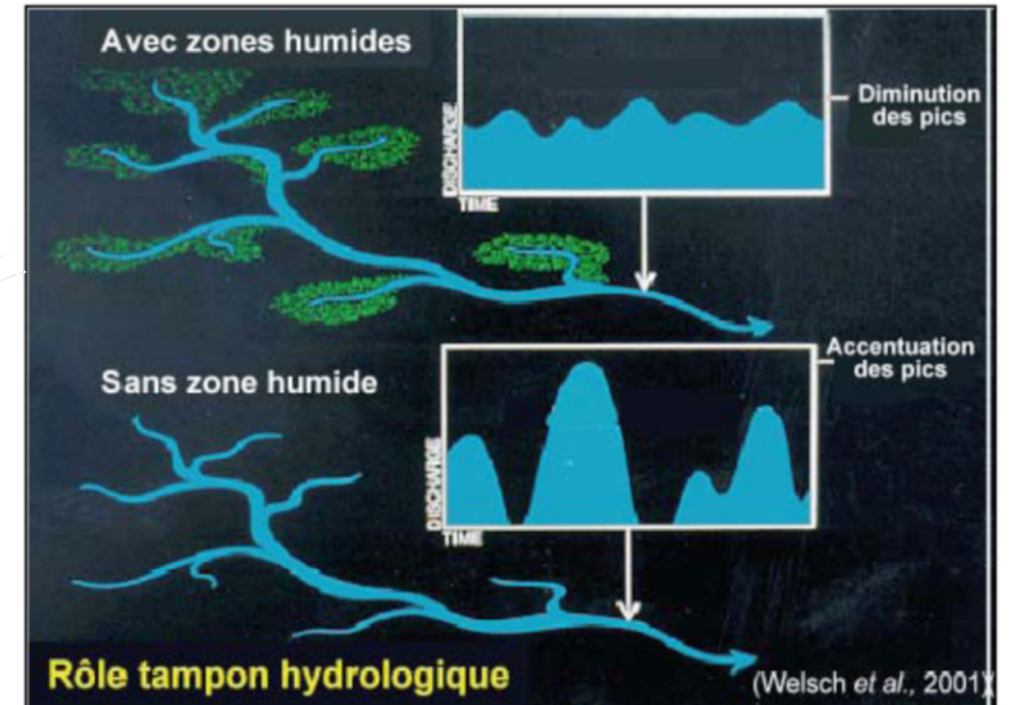


Fig. 2. Fonction hydrologiques des zones humides associées aux têtes de bassin versant. (Barnaud G., 2013)

Synchronisation des processus hydrologiques

- Diversité des têtes de bassin versant permet la désynchronisation de l'arrivée des masses d'eau dans le cours d'eau aval (Gomi et al., 2002)

✓ Atténuation des pics de crues

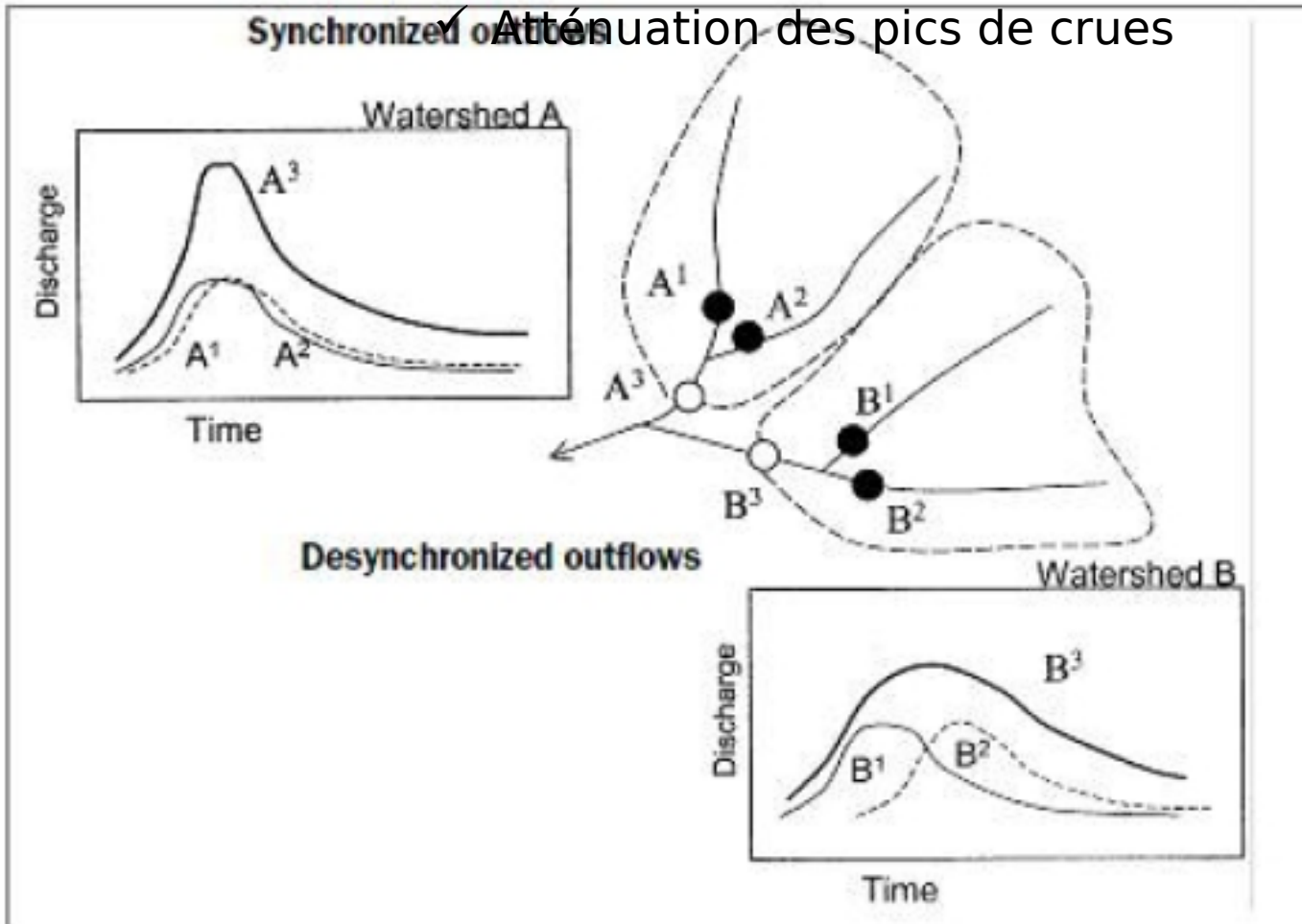


Figure 9 Synchronisation des processus hydrologiques dans le réseau hydrographique. Les volumes dans le bassin versant A et B sont identiques mais les pics de débit à la confluence sont différents car les masses d'eau sont synchronisées en A^3 et désynchronisées en B^3 , d'après (Gomi et al. 2002)

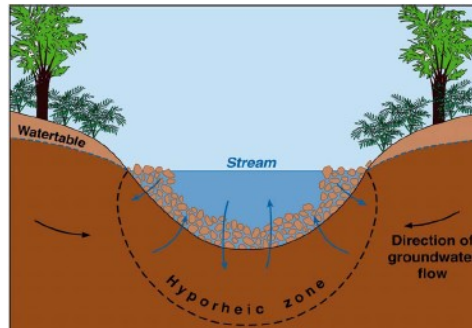
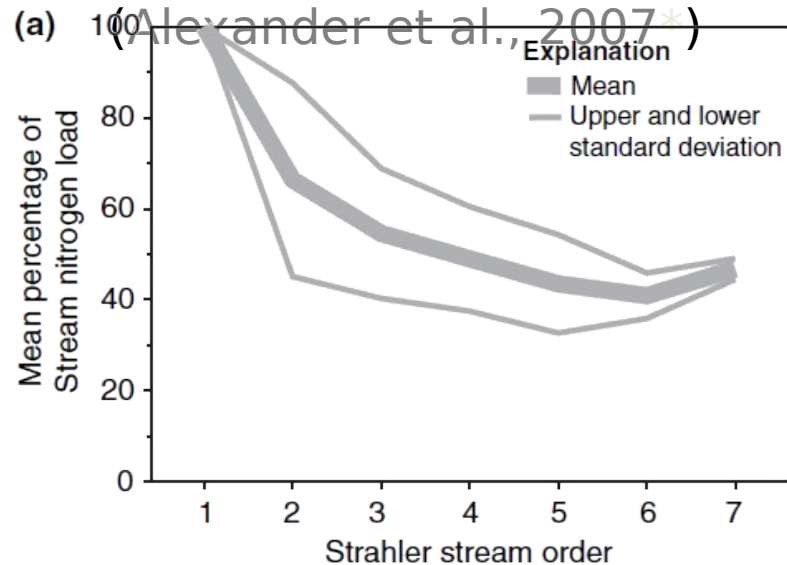
La qualité physico-chimique de la ressource en eau

Conditionnent qualitativement les ressources en eau de l'aval

(Alexander *et al.*, 2007*)

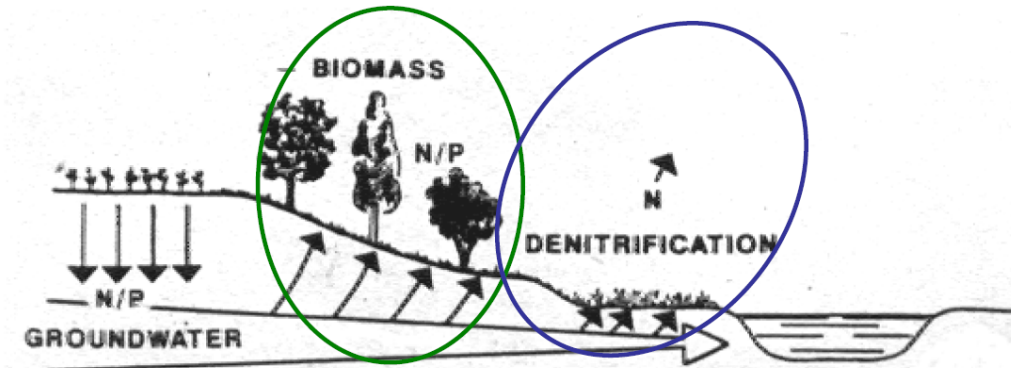
Cours d'eau en tête de bassin versant

- ✓ **Zone de forte dénitrification** (Thomas *et al.*, 2001* ; Bohlke *et al.*, 2004 ; Mulholland *et al.*, 2004 ; Oraison *et al.*, 2011)
- ✓ **60% de la charge en nitrate** trouvée dans les cours d'eau d'ordre supérieur à 3 **proviendrait des cours d'eau de rang 1**



Zones humides en tête de bassin versant

- ✓ **Zone de forte dénitrification** (comm




From Peterjohn & Correll, 1984

Principaux facteurs de la dénitrification

- de l'humidité / taux de saturation du sol
- de la présence de nitrates
- et de la présence de communautés microbiennes complètes (comm

Les têtes de bassin et le nitrate

Des conséquences à l'aval

 Le contrôle des niveaux de nitrate dans les cours d'eau en tête de bassin est crucial pour éviter les pollutions en nitrates dans les grands cours d'eau et les estuaires (Lassaletta *et al.*, 2010*)



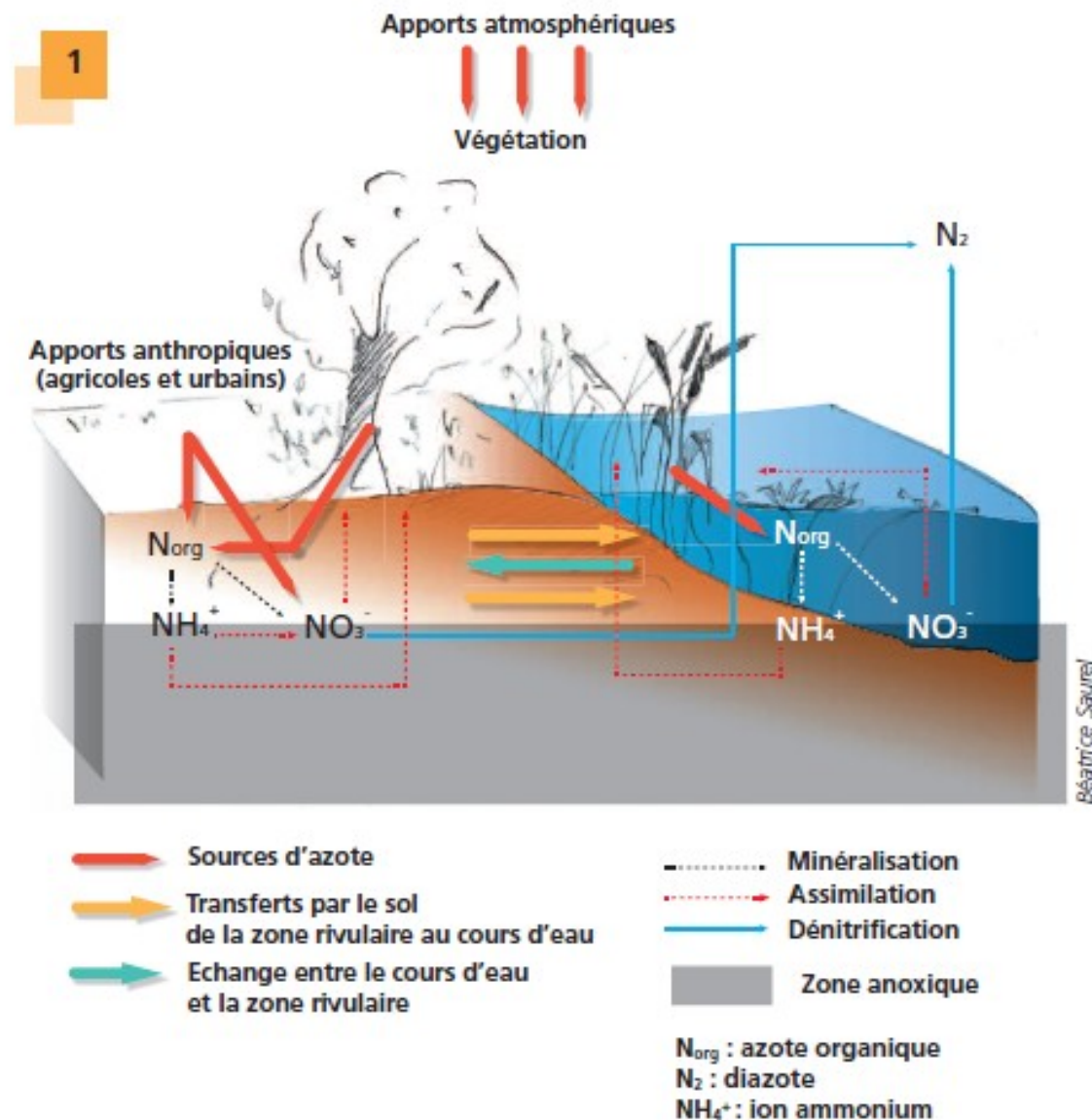
✓ La dégradation des TBV est identifiée comme étant la principale cause d'eutrophisation des estuaires en Caroline du Nord (Duda

1992; Grigg & Krumholz 1983;

Mallin *et al.*, 1995 in

Kneibhardt, 1999)
Nécessité d'intégrer les têtes de bassin dans les plans d'actions nitrates

(Lassaletta *et al.*, 2010*)

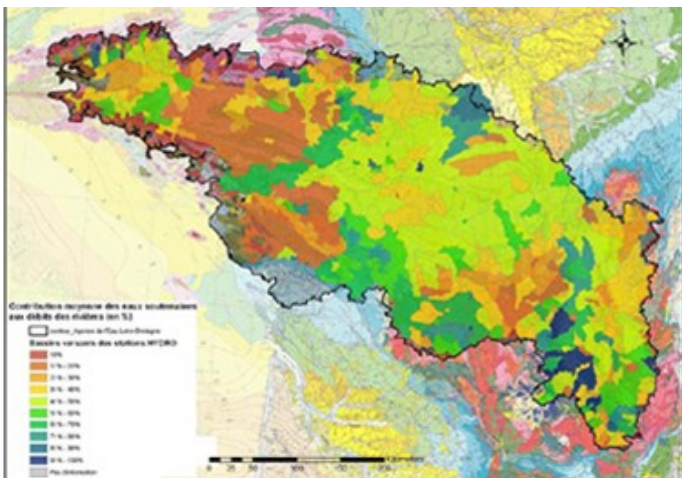


Un réseau de cours d'eau et de zones humides extrêmement diversifié à l'échelle du bassin

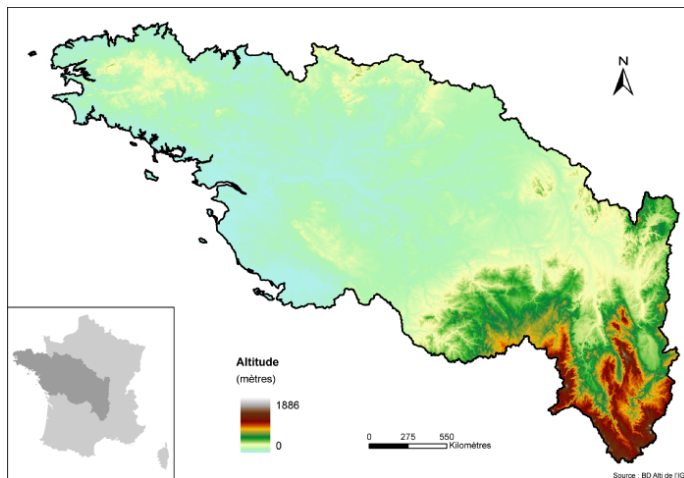
Climat



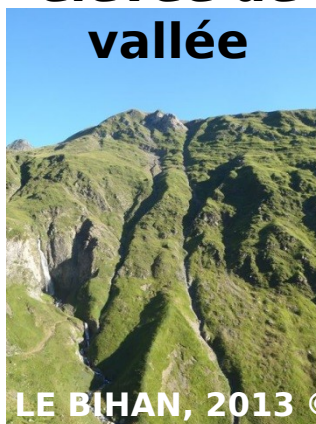
Géologie



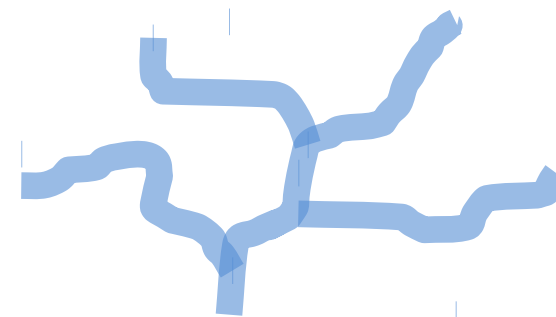
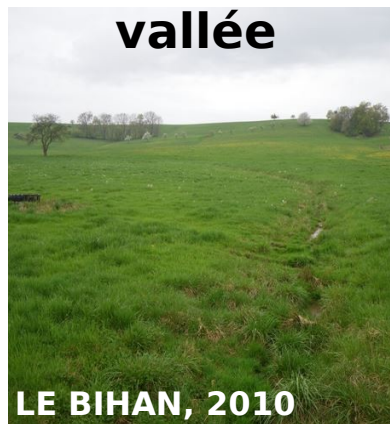
Relief



Pente élevée de vallée



Pente faible de vallée



Organisation du réseau extrêmement variée (linéaire de cours d'eau et superficie des zones humides)



Diversité importante des habitats

La grande diversité d'habitats à l'échelle d'une tête de bassin versant



La grande diversité d'habitats à l'échelle d'un tronçon de rang 1 ou 2

Bois en rivière



Bois mort en berge



Ancien méandre



Changement d'axe de vallée
Changement de forme de vallée

Mare

Granulométrie

Sinuosité

...

Ripisylve diversifiée **Fraction héritée** **Largeur et profondeur** **Faciès d'écoulement**

Plusieurs dizaines de milliers d'année de diversification des habitats en tête de bassin versant

Des espèces endémiques et emblématiques

  **Présence d'espèces endémiques à ces milieux** (Meyer *et al.*, 2007^{*a}

& b)

 **Espèces emblématiques des cours d'eau en tête de bassin versant** (LIFE, 2009).

- ✓ L'écrevisse à pied blanc (*Austropotamobius pallipes*)
- ✓ Le chabot (*Cottus gobio*)
- ✓ La moule perlière (*Margaritifera margaritifera*)
- ✓ La lamproie de planer (*Lampetra planeri*)



Une zone refuge : le cas « *Austropotamobius pallipes* »

● Dans les années 1960, les écrevisses pieds blancs occupaient une gamme typologique (Verneaux, 1973) du B2 au B7 (Teleos, 2004 ; in Bellanger, 2006*), soit de la zone à truite à la zone à barbeau (Huet, 1949)

● Actuellement, populations morcelées et inféodées à la zone à barbeau (Bellanger, 2006*)

- ✓ Retranchées, principalement dans les massifs montagneux
- ✓ Glissement typologique vers les secteurs plus apicaux témoigne du caractère refuge de ces zones
- ✓ Populations isolées les unes des autres augmentent le risque de disparition (Legalle, 2003)
- ✓ Occupations des sols influencent la répartition des populations d'écrevisses



© Burgun, 2010

Importance de la connectivité entre les têtes de bassin et le reste du réseau hydrographique

- ✓ Meilleure dispersion des populations
- ✓ Limite le taux d'extinction des métapopulations (Fagan, 2002 ; Lowe, 2002* ; in Clarke *et al.*, 2008*)

Quel est l'importance des cours d'eau sans poissons ?



● Influence des cours d'eau sans poissons

- ✓ Les cours d'eau en tête de bassin « sans poissons » favorisent les amphibiens et les reptiles (Johnson *et al.*, 2009*)
- ✓ Indice de diversité de Simpson et Shannon en macroinvertébrés de **10% à 20%** plus élevé dans les cours d'eau sans poissons, par rapport à ceux à truites (Herbst *et al.*, 2009*)
- ✓ Densité en invertébrés plus élevée, présence de taxons rares
- ✓ Susceptible d'alimenter 100-2000 salmonidés de l'année (Wipfli & Gessner, 2002*)



Quel est le carburant de la fonctionnalité des cours d'eau ?

● **Dans les climats tempérés, les cours d'eau en tête de bassin sont généralement des écosystèmes basés sur la dégradation de la matière organique avec une productivité primaire très limitée** (Wallace *et al.*, 1999 in Peterman *et al.*, 2002)

- ✓ Ombrage important, faible température, forte amplitude du régime thermique (Minshall, 1967 ; Fisher & Likens 1973)
- ✓ **70 à 80% de la MO provient de feuilles mortes** au moment de l'abscission en automne (Webster *et al.*, 1995)



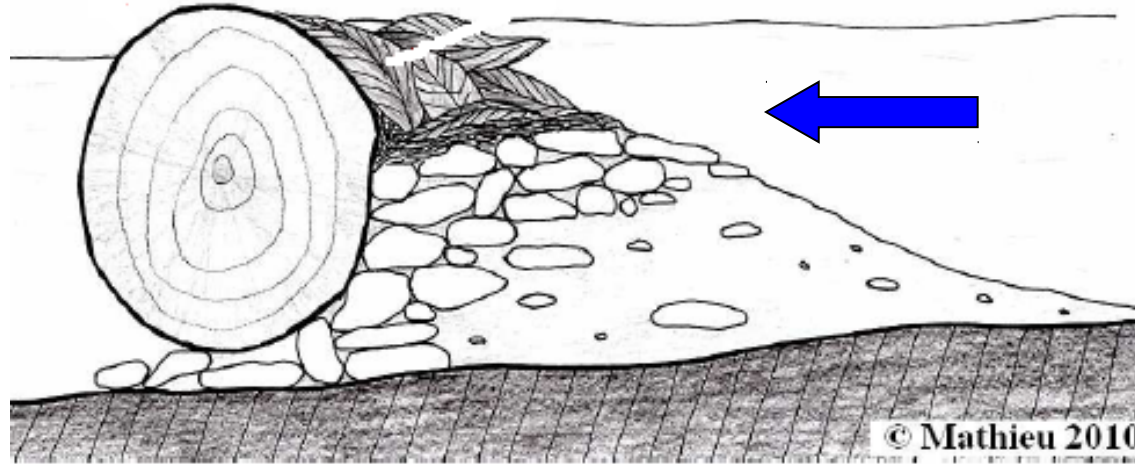
La décomposition des litières :

« Processus clé qui dirige le fonctionnement des cours d'eau en T2BV »
(Lecerf, 2005 ; Baudoin, 2007)

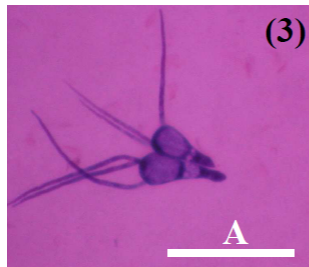
Quel est le carburant de la fonctionnalité des cours d'eau ?



Quel est le carburant de la fonctionnalité des cours d'eau ?



Une équipe de choc spécialisée dans la dégradation !!



Champignons

+



Invertébrés

+



Bactéries

=

95 %
de dégradation

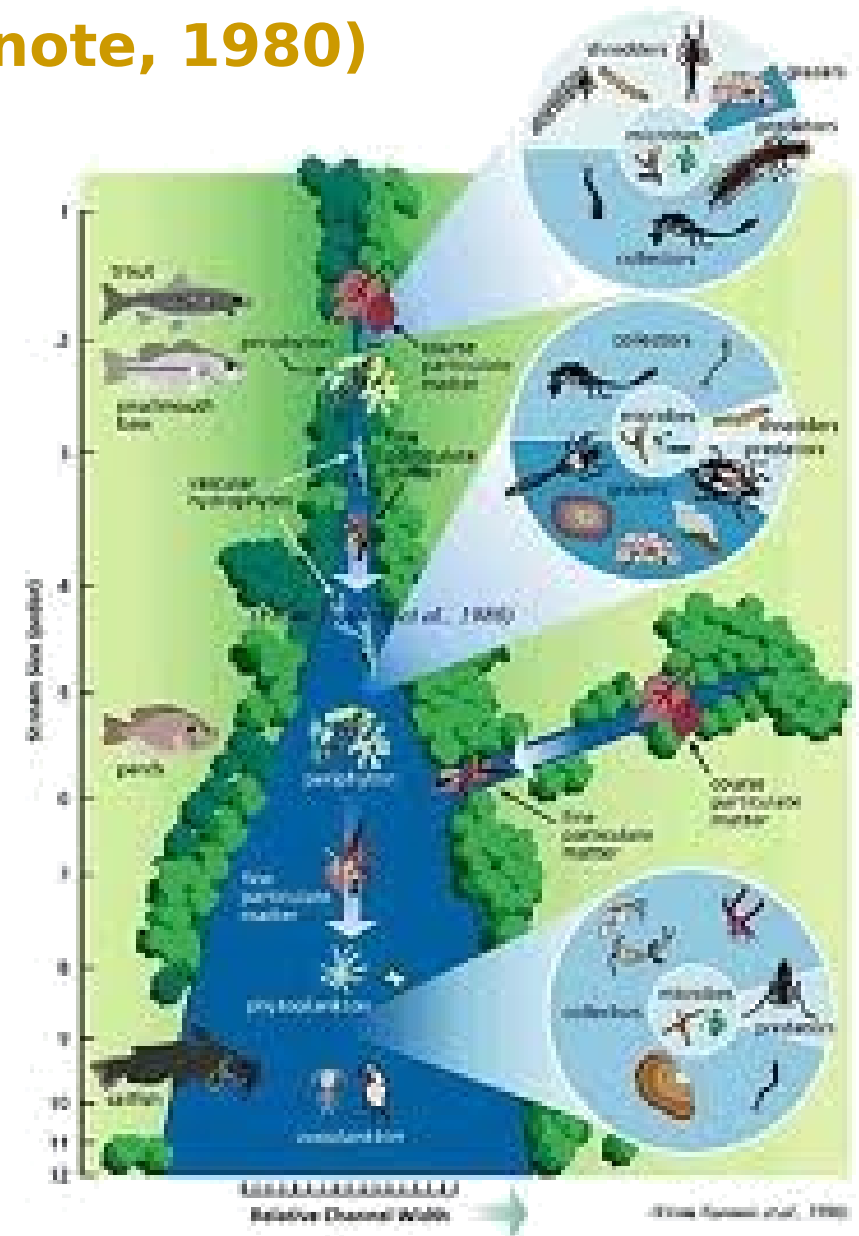
Le ver Continuum Concept (Vannote, 1980)

● Les têtes de BV, « usines à dégrader de la matière organique »

- ✓ Transformation de 95% de la MO brute en MO particulaire fine et dissoute (Naiman, 1982, Wallace *et al.*, 1995, Kiffney *et al.*, 2000)
- ✓ MO fine assimilée par les collecteurs qui augmentent avec les rangs (Baetidae, Simulidae...)
- ✓ Macroinvertébrés servant de nourriture à la faune piscicole

Remarque : Les invertébrés terrestres tombant du couvert végétal constituent une proportion importante de proies pour les poissons (Wipfli & Gregovich, 2002* ; Wipfli, 2005*)

- ✓ Densité de poissons supérieure pour les cours d'eau avec de nombreuses connections avec les têtes de bassin versant du fait d'un apport en proies plus importants



Ruisseau de
Kernec
ZONE C



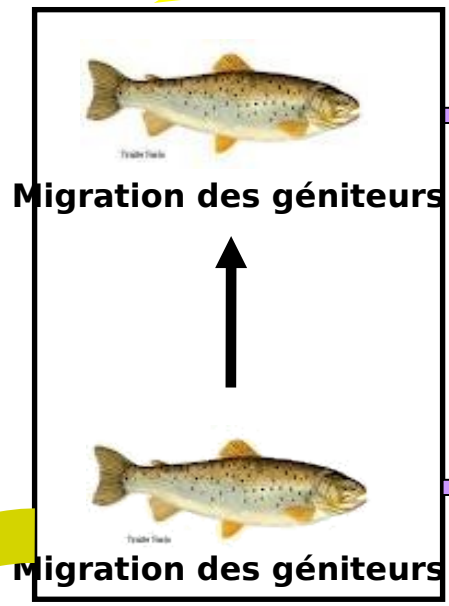
ZONE B



ZONE A

Le Scorff

Vers d'autres zone de reproduction



Adultes de la rivière

Origines autres

OEUFS → 0+

OEUFS → 0+

0+

Géniteurs
résidants

OEUFS → 0+

0+

Géniteurs
résidants

Déplacement des géniteurs
Déplacement des juvéniles

(Adapté de Baglinière et al., 198...)

LE BIHAN, 2012

Quel est l'importance des cours d'eau sans poissons ?



● Influence des cours d'eau sans poissons

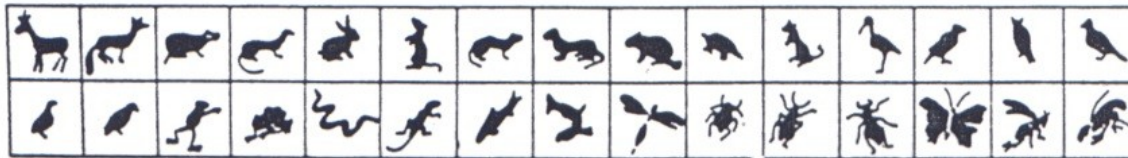
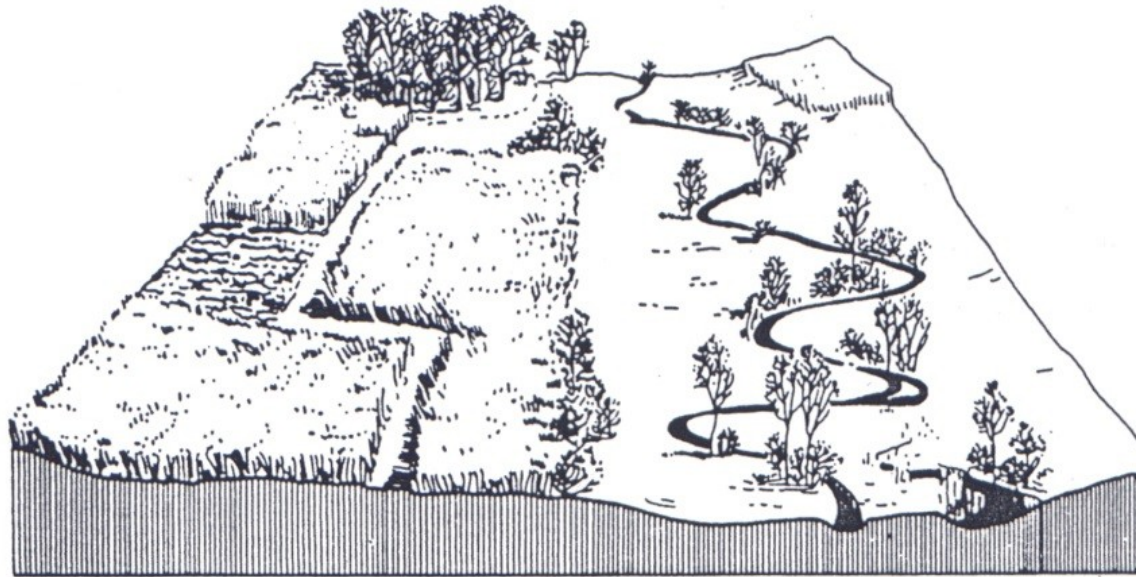
- ✓ Les cours d'eau en tête de bassin « sans poissons » favorisent les amphibiens et les reptiles (Johnson *et al.*, 2009*)
- ✓ Indice de diversité de Simpson et Shannon en macroinvertébrés de **10% à 20%** plus élevé dans les cours d'eau sans poissons, par rapport à ceux à truites (Herbst *et al.*, 2009*)
- ✓ Densité en invertébrés plus élevée, présence de taxons rares
- ✓ Susceptible d'alimenter 100-2000 salmonidés de l'année (Wipfli & Gessner, 2002*)



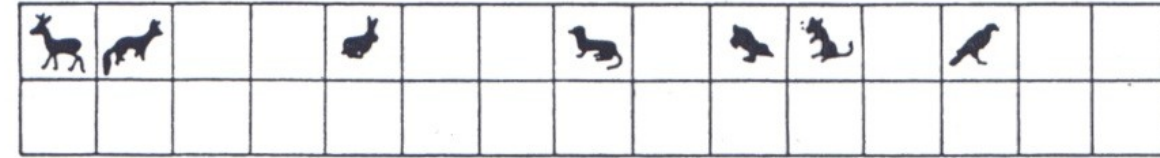
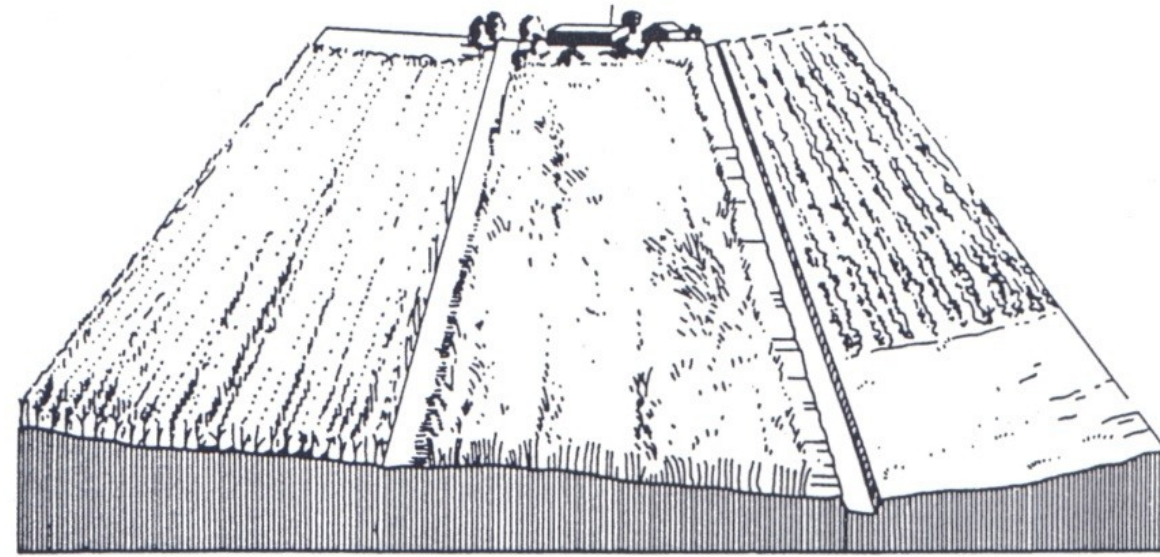
A l'origine d'une biodiversité majeure en tête de bassin versant

- **Moteur de la biodiversité :** Dynamique naturelle de diversification des habitats et des espèces en tête de bassin versant

Tête de bassin préservée



Tête de bassin altérée



MERCI DE VOTRE ATTENTION



Références bibliographiques

- ABOU-HAMDAN H., HAURY J., HEBRARD J-P., DANDELLOT S., CAZAUBON A., 2005**, Macrophytic communities inhabiting the Huveaune (South-East France), a river subject to natural and anthropic disturbances, *Hydrobiologia*, **551**, 161-170.
- ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E. & MOORE R.B., 2007**, The role of headwater streams in downstream water quality, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **43** (1), 41-59.
- BAGLINIERE J.L., MAISSE G., LEBAIL P.Y., NIHOARN A., 1989**, Population dynamics of Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in a tributary in Brittany (France) : spawning and juveniles, *J. Fish. Biol.*, **34**, 97-110.
- BARNAUD G., 2013**, Spécificités des têtes de bassin, cours d'eau et zones humides associées, Rencontres Eau, Espaces, Espèces - Préservation des zones humides, de la continuité écologique et de la biodiversité - Atelier « Têtes de bassin », Tours.
- BARRY J. & LE BIHAN M., 2012**, « Analyse technique des photographies aériennes, un appui à la définition des cours d'eau », ONEMA, 3 pages.
- BAUDOIN J.M., 2007**, Biodiversité et fonctionnement de cours d'eau forestiers de tête de bassin : Effet de l'acidification anthropique et d'une restauration, Thèse Discipline Ecologie, Spécialité Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, Université Paul Verlaine de Metz, 221 pages.
- BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L., 2005**, Geomorphology of steepheadwaters : the transition from hillslopes to channels, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **41** (4), 835-851.
- BERENZEN N., KUMKE T., SCHULZ H.K. & SCHULZ R., 2005**, Macroinvertebrate community structure in agricultural streams : impact of runoff-related pesticide contamination, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **60**, 37-46.
- BINCKLEY, WIPFLI M.S. (unpublished data) in WIPFLI M.S., RICHARDSON J.S., NAIMAN R.J., 2007**, Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems : transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. *Journal of the American Water Resources Association*, **43**, 72-85
- BOHLKE J.K., Harvey J.W., VOYTEK M.A., 2004**, Reachscale Isotope Tracer Experiment to Quantify Denitrification and Related Processes in a Nitrate-Rich Stream, Mid-continent USA, *Limnology and Oceanography*, **49**, 821-838.
- BOSSIS M., 2014**, Étude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence, Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 19 pages + Annexes.
- BOUAS G., 2016**, Etude de la Biodiversité (macro-invertébré et ichtyofaune) des cours d'eau en tête de bassin versant, Rapport de stage M2, IMACOF / ONEMA, 40 pages.
- BRONSTED A., CREUTZFELDT B., GRAEFF T., HAINSEK I., HEISTERMANN M., ITZEROTT S., JAGDHUBER T., KNEIS D., LUCK E., REUSSER D. & ZEHE E., 2012**, Potentials and constraints of different types of soil moisture observations for flood simulations in headwater catchments, *Natural Hazards*, **60**, 879-914.
- CAMPBELL GRANT E.H., GREEN L.E., LOWE W.H., 2009**, Salamander occupancy in headwater stream networks, *Freshwater Biology*, 1-9.

Références bibliographiques

- CESCHIN S., ALEFFI M., BISCEGLIE S., SAVOA V. & ZUCCARELLO V., 2012**, Aquatic bryophytes as ecological indicators of the water quality status in the Tiber River basin (Italy), *Ecological Indicators*, **14**, 74-81.
- COLIN M., 2015**, Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant, Evaluation de l'impact des travaux de chenalisation, Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 57 pages.
- DIREN, 2004**, Guide pratique d'identification des bryophytes, 158 pages.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009**, Stream corridor structure [en ligne], disponible sur <http://www.epa.gov/watertrain/stream/r11.html>.
- FEELEY H.B., WOODS M., BAARS J.R., KELLY-QUINN M., 2012**, Refining a kick sampling strategy for the bioassessment of benthic macroinvertebrates in headwater streams, *Hydrobiologia*, **683**, 53-68.
- FISHER S.G. & LIKENS G.E., 1973**, Energy flow in Bear Brook New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem Metabolism, *Ecol. Monogr.*, **43**, 421-439.
- FORUM DES MARAIS ATLANTIQUES, 2015**, Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Conseil régional des Pays de la Loire, 189 pages. Disponible sur: <http://www.forum-zones-humides.org/telechargement-mallette-indicateurs.aspx> (consulté le 01/11/2016).
- FRITZ K.M., JOHNSON B.R., WALTERS D. M., 2006**, Field operations manual for assessing the hydrologic permanence and ecological conditions of headwater streams, U.S. EPA, 130 pages.
- GOMI T., SIDLE R.C., RICHARDSON J.S., 2002**, Understanding processes and downstream linkages of headwater systems, *Bioscience*, **52** : 905-916.
- HERBST D., SILLDORFF E.I. & COOPER S.D., 2009**, The influence of introduced trout on the benthic communities of paired headwater streams in the Sierra Nevada of California, *Freshwater Biology*, 1-17.
- HURST M.R., SHEAHAN D.A., 2003**, The potential for oestrogenic effects of pesticides in headwater streams in the UK, *The Science of the Total Environment*, **301**,87-96.
- JAN, 2013**, Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau en tête de bassin versant sur le Massif Armoricaïn, Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 40 pages.
- JANISCH J.E., FOSTER A.D., EHINGER W.J., 2011**, Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA, *Forest Ecology and Management*, **261**, 1265-1274.
- JOHNSON B.R., FRITZ K.M., BLOCKSOM K.A., WALTERS D.M., 2009**, Larval salamanders and channel geomorphology are indicators of hydrologic permanence in forested headwater streams, *Ecological indicators*, **9**, 150-159.
- KIFFNEY P.M., RICHARDSON J.S., FELLER M.C., 2000**, Fluvial and Epilithic Organic Matter Dynamics in Headwater Streams of Southwestern British Columbia, *Canada. Archiv fur Hydrobiologia*, **149**, 109-129.

Références bibliographiques

- KREUTZWEISER D.P., CAPELL S.S., HOLMES S.B., 2009**, Stream temperature responses to partial-harvest logging in riparian buffers of boreal mixedwood forest watersheds, *Can. J. For. Res.*, **39**, 497-506.
- LE BIHAN, 2012**, Réunion d'information sur les têtes de bassin versant : connaissance, méthodes, outils et perspectives, Support de présentation, 185 pages.
- LE BIHAN M., 2013**. Formation sur la restauration des cours d'eau en tête de bassin versant , Volet « Travaux hydrauliques », Session 1 : Connaissances de base et caractérisation des dysfonctionnements et Session 2 : Méthodes et techniques de restauration.
- LE BIHAN, 2015**, Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire, Note ONEMA V1, 24 pages.
- LECERF, 2005**, Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau en tête de bassin versant, Thèse Discipline Ecologie fonctionnelle, Université Toulouse III – Paul Sabatier, UFR Sciences et vie de la terre, 159 pages
- LIFE, 2009**, Colloque de restitution du Programme LIFE « Ruisseaux de têtes de bassin et faune patrimoniale associées», Dijon, 9-11 juin 2009.
- MALAVOI, 2011**, Formation ONEMA sur l'hydromorphologie des cours d'eau, Supports de présentation, 1014 pages.
- MATHIEU, 2010**, Quels pré-requis pour la restauration des cours d'eau enterrés en tête de bassin ? Rapport de stage, ONEMA/Université de Rennes 1, 36 pages.
- MATTHIESSEN P., ARNOLD D., JOHSON A.C., PEPPER T.J., POTTINGER T.G., PULMAN K.G.T.**, Contamination of headwater streams in the United Kingdom by oestrogenic hormones from livestock farms, *Science of the Total Environment*, **367**, 616-630.
- Mc CARTNEY et al., 1998**, Use of deuterium to understand runoff generation in headwaters catchment containing a dambo, *Hydrology and Earth System Sciences*, **2**, 65-76.
- MINISTRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015**, Instruction du Gouvernement du 3 juin 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien. NOR : DEVL1506776J. Texte non paru au *Journal Officiel*.
- MEYER J.L. & WALLACE J.B., 2001**, Lost Linkages and Lotic Ecology : Rediscovering Small Streams, *Ecology : Achievement and Challenge*, 295-317.
- MEYER J.L., STRAYER D.L., WALLACE J.B., EGGERT S.L., HELFMAN G.S & LEONARD N.E., 2007**, The contribution of headwaters streams to biodiversity in river networks, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, **43** (1), 86-103.
- MINSHALL G. W., 1967**, "Role of allochthonous detritus in the trophic structure of a woodland springbrook community", *Ecology*, **48**, 139-149.
- MULHOLLAND P.J., VALETT H.M., WEBSTER J.R., THOMAS S.A., COOPER L.W., HAMILTON S.K., PETERSON B.J., 2004**, Stream Denitrification and Total Nitrate Uptake Rates Measured Using a Field ¹⁵N Tracer Addition Approach, *Limnology and Oceanography*, **49**, 809-820
- NAIMAN, 1982**, Characteristics of Sediment and Organic Carbon Export From Pristine Boreal Forest Watersheds, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **39**, 1699-1718.

Références bibliographiques

- PETERMAN W.E., CRAWFORD J.A., SEMLITSCH R.D., 2008**, Productivity and significance of headwater streams : population structure and biomass of the black-bellied salamander (*Desmognathus quadramaculatus*), *Freshwater Biology*, **53**, 347-357.
- PORTAIL NATIONAL DES ZONES HUMIDES, 2011**, Intérêts et milieux en danger [en ligne], ONEMA, disponible sur <http://www.zones-humides.eaufrance.fr/> (consulté le 1 mai 2011).
- SCHUMM S.A., 1956**, Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Bulletin of the Geological Society of America*, **67**, 597-646.
- SHREVE R.W., 1969** (in Benda et al., 2005), Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks, *Journal of Geology*, **77**, 397-414.
- SPITONI, 2012**, Caractérisation géospatiale des pressions anthropiques physiques qui s'exercent sur les cours d'eau de tête de bassin versant, Rapport de stage, ONEMA/Université de Lorraine (LIEBE), 32 pages.
- THOMAS S.A., VALETT H.M., MULHOLLAND P.J., FELLOWS C.S., WEBSTER J.R., DAHM C.N., PETERSON C.G., 2001**, Nitrogen Retention in Headwater Streams : The Influence of roundwater - Surface Water Exchange, *The Scientific World*, **1**, 623-631.
- TRIEST L., 2006**, A comparison of macrophyte indices in headwaters of rivers in Flanders (Belgium), *Hydrobiologia*, **570**, 165-171.
- UWE S., 2013**, Le Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH-CE), Evaluation de la pertinence de l'outil syrah-ce sur les têtes de bassin versant, Rapport de stage, ONEMA/Université de Lorraine, 50 pages.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R. & CUSHING C.E., 1980**, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 103-137.
- WALLACE J.B., EGGERT S.L., MEYER J.L. & WEBSTER J.R., 1999**, Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem, *Ecological Monographs*, **69**, 409-442.
- WASSON J.G., MALAVOI J.R., MARIDET L., SOUCHON Y. & PAULIN L., 1998**, Impacts écologiques de la chenalisation des rivières, Editions Cemagref, **14**, 158 pages.
- WEBSTER J.R., WALLACE J.B., BENFIELD E.F., 1995**, Organic Processes in Streams of the Eastern United States, *River and Stream Ecosystems*, (eds.) C. E. Cushing, K. W. Cummins, G. W. Minshall. Elsevier, Amsterdam, 117-187.
- WIPFLI M.S. & GREGOVICH D.P., 2002**, Export of invertebrates and detritus from fishless headwater streams in southeastern Alaska : implications for downstream salmonid production, *Freshwater Biology*, **47**, 957-969.
- WIPFLI M.S., 2005**, Trophic linkages between headwater forests and downstream fish habitats : implications for forest and fish management, *Landscape and Urban Planning*, **72**, 205-213.
- WIPFLI M.S., RICHARDSON J.S., NAIMAN R.J., 2007**, Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems : transport of