




Année de programmation 2012

Thème 12-2 : Caractérisation de l'état hydromorphologique des masses d'eau

Action 06 : Description des caractéristiques physiques et des pressions associées pour les cours d'eau



SYRAH-CE : description des données et modélisation du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'Etat des lieux DCE

Rapport final

Valette L., Piffady J., Chandesris A., Souchon Y.

**Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema/Irstea
Lyon**

Juillet 2012



- **AUTEURS**

Laurent VALETTE, Ingénieur d'études Hydromorphologie SIG (Irstea), laurent.valette@irstea.fr

Jeremy PIFFADY, IPEF (Irstea), jeremy.piffady@irstea.fr

André CHANDESRIS, IDAE (Irstea), andre.chandesris@irstea.fr

Yves SOUCHON, Directeur de Recherche (Irstea), yves.souchon@irstea.fr

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Véronique NICOLAS, Chargée de mission, veronique.nicolas@onema.fr

Onema : Jean-Marc BAUDOIN, Chargé de mission, jean-marc.baudoin@onema.fr

Irstea : Laurent VALETTE, laurent.valette@irstea.fr

Irstea : André CHANDESRIS, andre.chandesris@irstea.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : France métropolitaine

Niveau de lecture : professionnels, experts



- **RESUME**

La démarche SYRAH-CE (Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau) consiste à balayer, selon une hiérarchie d'échelle descendante, les activités et occupations du sol dans le bassin versant, les aménagements et usages qu'elles ont induites à l'échelle des tronçons et in fine d'en apprécier le risque pour la dynamique hydromorphologique des cours d'eau (risques d'altération des flux liquides et solides et risques de modification structurelle de la morphologie). Les principes de la démarche, la nature des descripteurs élémentaires de Syrah-CE et les différents documents produits sont rappelés.

L'exercice 2012/2013 de réalisation par les bassins du deuxième état des lieux DCE demandait une formalisation de la démarche de façon à rendre plus homogène l'analyse au niveau national. Celle-ci s'appuie sur une modélisation de type bayésien (probabiliste) pour construire le risque d'altération de l'hydromorphologie ; les principes en sont détaillés et les hypothèses sous-jacentes aux relations probabilistes qui ont été élaborées sont fournies. Chaque nœud du raisonnement correspondant à l'un des 10 paramètres élémentaires pris en compte pour l'hydromorphologie par l'annexe 5 de la DCE est explicité. Une agrégation de ces 10 paramètres DCE est ensuite proposée pour répondre au mieux aux attentes du monde opérationnel. Enfin pour aider à la compréhension de cet ensemble assez complexe, toute la démarche est déployée sur un bassin test, celui de l'Azergues dans le département du Rhône.

- **MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)**

France métropolitaine, hydromorphologie, analyse de risque, réseau bayésien, Etat des lieux DCE, Syrah_CE, Azergues (69)



**SYRAH-CE : Description des données et modélisation du risque
d'altération hydromorphologique des cours d'eau pour l'état des lieux
DCE**

Rapport final

Valette L., Piffady J., Chandesris A., Souchon Y.



SOMMAIRE

1. PRINCIPES GENERAUX – OBJECTIFS DE SYRAH-CE.....	6
2. CONSTRUCTION DES PARAMETRES BRUTS.....	10
2.1. METHODES (ECHELLES, AGREGATION, ORIGINES).....	10
2.1.1. Atlas à Large Echelle.....	10
2.1.2. Données de pression au niveau tronçon.....	12
2.1.3. Présentation des descripteurs retenus pour l'analyse en vue de l'Etat des Lieux.....	14
2.1.4. Descripteurs à l'échelle du tronçon.....	16
2.1.5. Données de fonctionnement hydromorphologique.....	29
2.1.6. Données disponibles – utilisation potentielle.....	33
2.2. APPLICATION (SUR SOCLE COMMUN).....	33
2.3. CONCLUSION : UN SOCLE D'INFORMATIONS A RENDRE LISIBLE.....	34
3. MODELISATION DES ALTERATIONS POTENTIELLES.....	35
3.1. LE BESOIN DES UTILISATEURS.....	35
3.2. PRINCIPE METHODOLOGIQUE.....	36
3.3. LES RESEAUX DE PROBABILITE BAYESIENS.....	37
3.3.1. Structure graphique des réseaux bayésiens :.....	37
3.3.2. Structure probabiliste des réseaux bayésiens :.....	38
3.3.3. Gestion des tables de probabilités conditionnelles.....	39
3.3.4. Utilisation.....	41
3.4. DETAILS DES MODELES PROBABILISTES PAR PARAMETRE ELEMENTAIRE.....	44
3.4.1. Elément de qualité : Régime hydrologique.....	44
3.4.2. Elément de qualité : Continuité de la rivière.....	47
3.4.3. Elément de qualité : Conditions morphologiques.....	50
3.5. AGREGATION A LA MASSE D'EAU.....	56
4. UTILISATION – ETAT DES LIEUX DCE.....	57
4.1. OBJECTIF DE L'ETAT DES LIEUX.....	57
4.2. PRINCIPES.....	57
4.2.1. Nature de l'information disponible.....	57
4.3. AVERTISSEMENT.....	57
4.3.1. Importance de l'expertise locale et collective.....	58
4.3.2. Ne pas confondre résultats non satisfaisants et résultats erronés.....	58
4.3.3. Le modèle ne peut être une vérité absolue.....	59
5. APPLICATION : EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE L'AZERGUES.....	60
5.1. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT.....	60
5.2. REGIME HYDROLOGIQUE.....	61
5.2.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau.....	61
5.2.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA.....	62
5.2.3. Pour aller plus loin : les données « brutes » de pression.....	63
5.2.4. Régime hydrologique : les risques au niveau du bassin.....	64
5.3. CONTINUITE BIOLOGIQUE.....	65
5.3.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau.....	65
5.4. CONTINUITE DU TRANSPORT SOLIDE ET CONTINUITE LATERALE.....	66
5.4.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau.....	66
5.4.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA.....	69
5.4.3. Pour aller plus loin : les données « brutes » de pression.....	70
5.4.4. Continuité physique (transport sédimentaire et continuité latérale) : les risques au niveau du bassin	71
5.5. CONDITIONS MORPHOLOGIQUES.....	72
5.5.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau.....	72
5.5.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA.....	76
5.6. APPROCHE D'UNE CLASSIFICATION DES MASSES D'EAU DU BASSIN VERSANT.....	76
5.6.1. Masses d'eau et classe d'altération la plus probable.....	77
6. CONCLUSION.....	79

1. Principes généraux – objectifs de SYRAH-CE

Les facteurs clés du fonctionnement écologique des milieux aquatiques : habitat physique, « climat » aquatique (physico-chimie et température), réseaux trophiques dépendent largement des variables régionalisées de contrôle de l'hydromorphologie (régime hydro-sédimentaire, largeur et pente des fonds de vallée), combinées à la structure du corridor rivulaire et au bon fonctionnement des connectivités latérales (berges et ripisylve), longitudinales et verticales (lien avec la nappe d'accompagnement) du cours d'eau.

Le Cemagref/Irstea a été mandaté en 2006 par le Ministère en charge de l'écologie et les Agences de l'eau, puis à partir de 2008 par l'Onema pour réaliser une démarche d'évaluation, cohérente à l'échelle nationale, du risque d'altération de l'hydromorphologie de l'ensemble des masses d'eau métropolitaines. L'objectif de cette démarche dénommée SYRAH_CE (SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau) était de mettre au point un outil de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau qui s'appuie sur les principes de fonctionnement morphologique des cours d'eau et qui en inventorie les altérations potentielles liées à différents usages. La démarche revêtait d'emblée un caractère opérationnel d'aide au diagnostic pour les futures politiques de gestion (Etat des lieux, Programme de Mesures, SDAGE, Restauration).

L'évaluation du fonctionnement hydromorphologique en fonction des contraintes (pressions) exercées dans le bassin versant et le long des cours d'eau a été privilégiée par rapport à une approche plus communément pratiquée de description d'« état » à la seule échelle d'une « station ». Avec cette dernière, il était difficile de bien gérer le changement d'échelle et de bien identifier l'origine des altérations.

Les altérations des processus (flux liquides et flux solides) et des structures (morphologie résultante) sont au cœur de l'évaluation :

- elles sont en effet fortement liées à l'intensité des pressions anthropiques dans un contexte géomorphologique donné (échelle du tronçon de cours d'eau) ;
- elles sont clairement à l'origine de perturbations directes et indirectes des habitats aquatiques ainsi que de leur processus de régénération.

Dans la mesure où le caractère opérationnel de la démarche imposait des contraintes en termes de délais, de moyens et d'efficacité, un nombre fini d'altérations hydromorphologiques, les plus fréquentes et les plus susceptibles d'être à l'origine d'impacts sur le fonctionnement écologique des cours d'eau, a été identifié. Pour les traiter, l'audit SYRAH-CE repose sur la valorisation de couches d'informations géographiques et de bases de données existantes à l'échelle nationale permettant de décrire les pressions, voire les usages, susceptibles d'être à l'origine de ces altérations.

Le schéma conceptuel de l'audit SYRAH-CE (Fig.1) retient trois niveaux hiérarchiques qui peuvent être appréhendés qui combinent échelles spatiales et mécanismes d'altération. La compréhension et le diagnostic des dysfonctionnements écologiques d'origine hydromorphologique doivent nécessairement intégrer cette organisation en échelles emboîtées du fonctionnement des hydrosystèmes. C'est cet emboîtement qui permet une démarche de type descendante (top-down) qui renforce l'analyse là où des risques importants ont été identifiés au niveau supérieur.

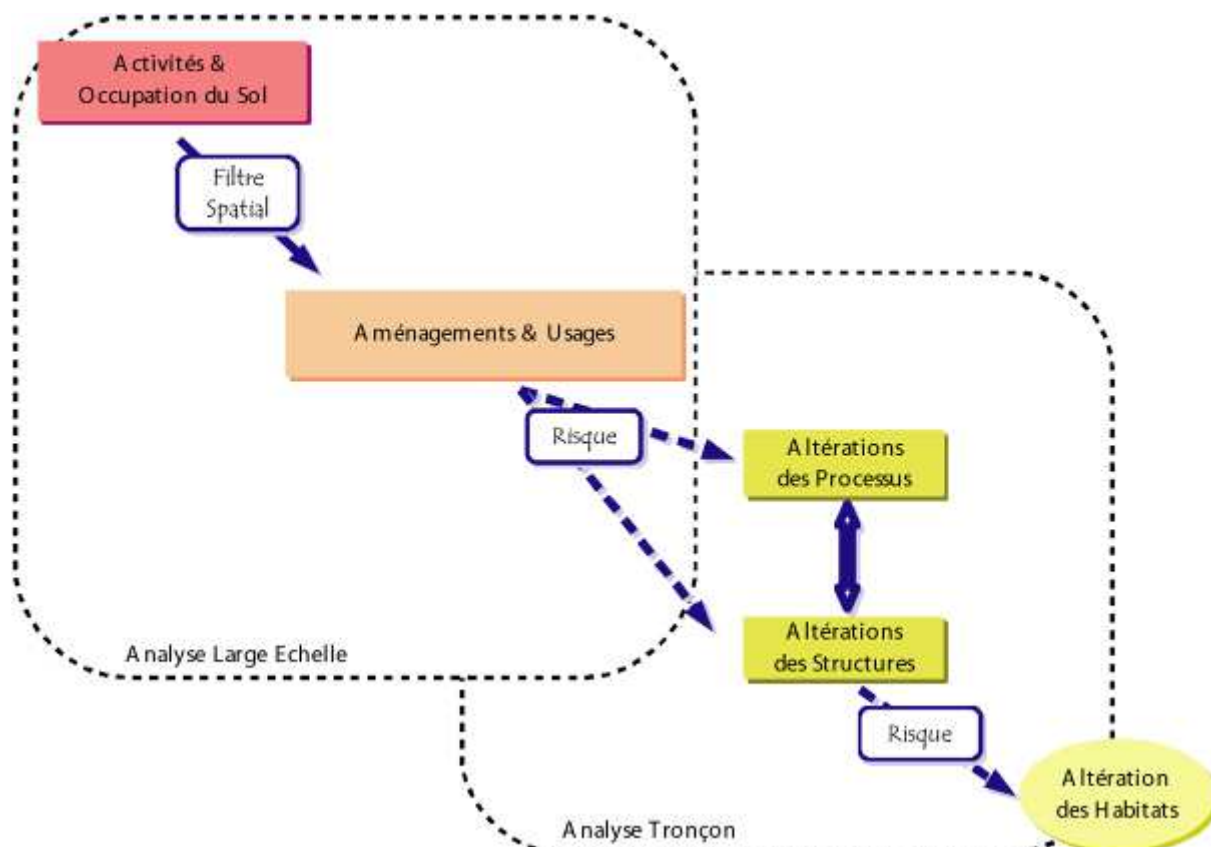


Fig. 1 - Schéma conceptuel de SYRAH-CE

Le premier niveau d'analyse concerne un compartiment supérieur nommé « **Activités et Occupations des sols** ». Ce compartiment interagit, selon sa nature, avec le fonctionnement des cours d'eau à plusieurs échelles spatiales latérales et longitudinales (le bassin versant, le lit majeur, le lit mineur). Il regroupe les grandes forces motrices qui sont à l'origine de pressions plus directes sur les cours d'eau.

A travers ce **filtre spatial**, on peut identifier et quantifier différents « **Aménagements et Usages** », constituant le deuxième niveau d'analyse, reflétant les activités anthropiques sous forme de « pressions » identifiables par des moyens directs ou indirects. Celles-ci ont des effets, directs et indirects, sur le fonctionnement des cours d'eau qui se traduisent par des « **Altérations des processus hydromorphologiques** » et des « **Altérations des structures physiques** ».

Ces altérations sont appréhendées à **l'échelle du tronçon, défini par un fonctionnement hydromorphologique homogène** (du point de vue des variables de contrôle). L'hypothèse étant que si un tronçon homogène présente des portions de son linéaire manifestement différentes les unes des autres, on peut alors suspecter une ou plusieurs altérations hydromorphologiques. Ces altérations sont en réalité des ajustements dynamiques au changement de contexte géomorphologique impactant les formes naturelles des cours d'eau et par conséquent, les habitats des différents organismes du milieu aquatique.

Les **altérations des structures** morphologiques se traduisent généralement par une modification des « formes fluviales ». Les évaluer finement nécessiterait de recourir à des descriptions ou à des mesures de terrain et de définir des états de référence. Pour les **altérations des processus** (flux solides et liquides) s'ajoute une notion temporelle nécessitant le recours à des chroniques d'informations, peu disponibles et difficilement

mobilisables. Evaluer directement ces altérations est donc extrêmement difficile et très gourmand en temps de mesure in situ et par la suite en temps d'actualisation. Il a donc été nécessaire de recourir à une méthode d'appréciation indirecte (approche probabiliste de type « risque »).

L'objectif majeur de l'audit est de détecter les altérations hydromorphologiques probables, d'origine non naturelle, pouvant être associées à une dégradation de l'« Etat écologique », notamment par le biais d'une **détérioration des habitats aquatiques et rivulaires**. C'est ce lien entre l'altération hydromorphologique et l'altération écologique, par le biais des impacts sur les habitats, qui représente le troisième niveau de la démarche SYRAH-CE.

L'audit SYRAH-CE peut être décomposé en grandes étapes de réalisation (Fig.2), qui intègrent la chaîne de causalité précédemment décrite et qui suit une logique DPSIR (Driving forces – Pressures – State – Impact – Response).

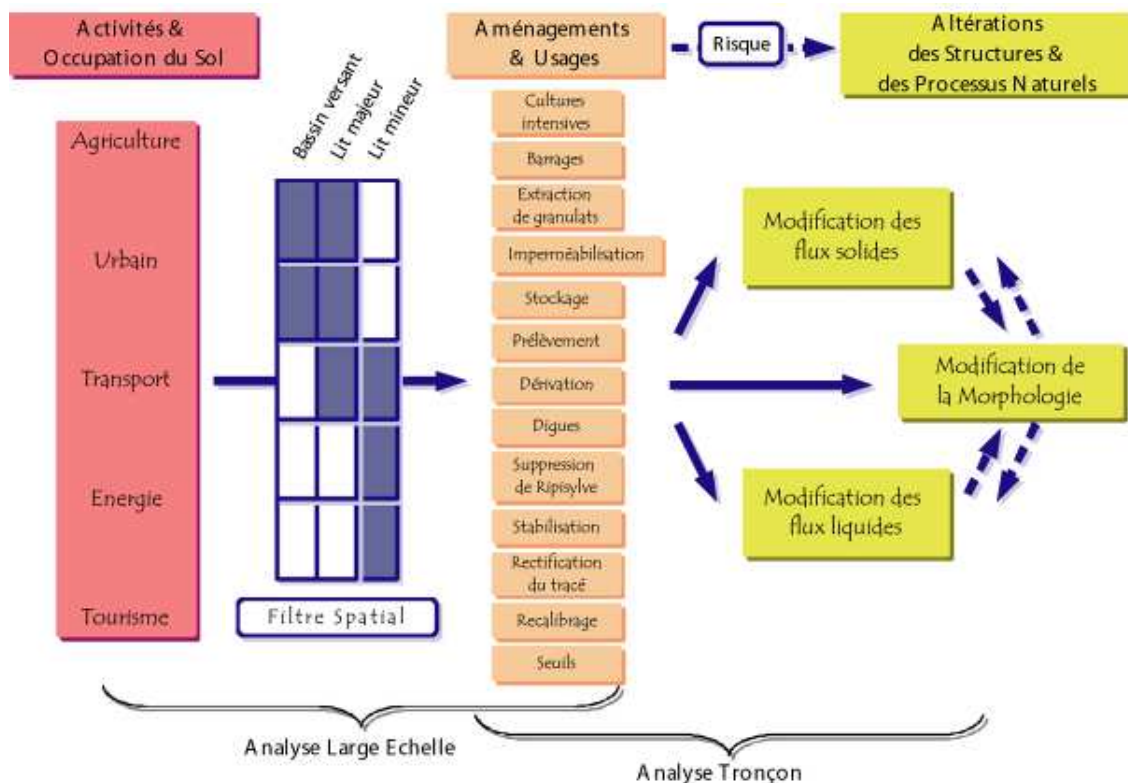


Fig. 2 - Variables de pression et risques d'altérations physiques

A l'amont de cette chaîne de causalité se trouve le niveau des « Activités et occupation du sol ». Cette première étape a donné lieu à la réalisation d'un **Atlas à Large Echelle** qui permet de définir le contexte des usages dominants (ou forces motrices) susceptibles de générer des pressions impactant le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau (Chandesris, Mengin et al. 2009).

Le deuxième niveau est celui de la caractérisation du Fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et des Pressions anthropiques, qui a nécessité deux développements importants :

- la construction d'un **réseau de Tronçons Géomorphologiquement Homogènes** (réseau TGH) du point de vue des variables de contrôle de la géomorphologie fluviale,

donc de leur fonctionnement naturel (Valette, Chandesris et al. 2008). C'est le cadre au sein duquel s'analysent les éventuels dysfonctionnements

- une liste des aménagements et usages susceptibles de générer des altérations hydromorphologiques, qui a été établie en tenant compte des diverses échelles spatiales imbriquées : le bassin versant, le lit majeur et le lit mineur. Le recueil des **informations de pressions a été réalisé à l'échelle des tronçons du réseau TGH** (V0 réalisée par le bureau d'étude Ginger-Strategis dans le cadre d'une étude Inter-Agences, juin 2010), et la validation la correction et la mise à jour des données par l'Irstea en 2011.

La troisième étape, décrite en détail dans le présent rapport, s'intéresse aux effets des pressions à différentes échelles sur le fonctionnement des cours d'eau, traduits en **altérations probables de l'hydromorphologie**.

Une nouvelle étape complémentaire est en cours de réalisation. Elle doit permettre d'enrichir le jeu de données « aménagements des usages », ainsi que la connaissance des liens pressions/altérations. La première étape du travail a débuté avec l'élaboration d'un **protocole de recueil de données de terrains complémentaires : Audit Rapide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau** (AURAH-CE, version provisoire janvier 2011, en cours de test en 2011-2012).

L'ensemble de ces documents sont, à l'exception des informations de pressions à l'échelle tronçon, accessibles depuis un site extranet web dédié : <https://hydroeco.cemagref.fr/hydromorphologie>

2. Construction des paramètres bruts

2.1. Méthodes (échelles, agrégation, origines)

2.1.1. Atlas à Large Echelle

L'Atlas est constitué d'un ensemble de couches géographiques regroupées en trois catégories d'altérations physiques : altération des flux solides, altération des flux liquides, et altération de la morphologie, résultant, dans la majorité des cas, du déséquilibre entre les deux premières catégories ou d'une artificialisation plus directe.

L'Atlas mobilise des données homogènes et disponibles à l'échelle du territoire national relatives à l'occupation des sols (Corine Land Cover), aux activités économiques (Recensement Général de l'Agriculture, barrages et plans d'eau, infrastructures), ainsi qu'à certains processus particuliers jugés déterminants (cartographie des risques d'érosion des sols par l'INRA, 1998).

Cet ensemble de cartes interprétées, utilisable à l'échelle du bassin versant, a pour objectif d'aider à l'appréciation des gradients de pression d'origine anthropique sur un grand territoire, et de mettre à disposition des acteurs un « filtre » de lecture des risques d'altération des cours d'eau. L'atlas fixe, en effet, un contexte de pressions (1^{ère} échelle d'analyse de la démarche SYRAH-CE, Fig. 1 et 2) qui s'accompagnent de leurs aménagements et usages.

Selon la nature des données utilisées et les cours d'eau concernés, le mode de représentation utilisera les supports suivants :

- pour les pressions diffuses sur le bassin versant, la représentation de l'information est **surfacique** : utilisation du thème « zones hydrographiques » de la BD Carthage® (p. ex : érosion des sols), ou utilisation des données GEOFLA® de l'IGN (p. ex : surfaces irriguées et surfaces drainées disponibles à l'échelle des cantons) ;
- pour les pressions affectant les drains des zones hydrographiques, la représentation est **linéaire**, bien que la variable soit calculée à l'échelle du bassin-versant. De plus certaines variables (impact d'un barrage par exemple) prennent en compte l'effet cumulatif de certaines pressions vers l'aval :
 - o utilisation de la couche géographique « drain principal » (couche résultante « DPV1 » issue de la BD Carthage®) (par ex. : influence hydrologique ou sédimentaire des retenues),
 - o à une échelle plus fine pour les petits cours d'eau, utilisation de données construites à l'échelle de la zone hydrographique (couche résultante « DPV3 » issue de la BD Carthage®) (p. ex : artificialisation, occupation des sols);
- pour les pressions affectant les grands cours d'eau au niveau du lit majeur, la représentation est également **linéaire**, mais, dans ce cas, l'information correspond à des données extraites dans une zone tampon, de part et d'autre du cours d'eau : utilisation du thème « hydrographie linéaire » de la BD Carthage® pour les cours d'eau de rang de Strahler supérieur ou égal à 4 (par ex. : présence de gravières, présence de voies de communication en lit majeur, pression urbaine, pression agricole).

Ces différentes données géographiques permettent de construire un atlas, ensemble de cartes interprétées, dotées chacune d'une légende pertinente en termes de répartition spatiale du gradient de pression, élaborée pour la majorité des cas à partir d'une analyse de la distribution des valeurs des variables.

Tableau 1. Couches géographiques de l'Atlas à Large Echelle

	Structures & occupation des sols	Aménagements & Usages	Variables	Sources	Cartes (supports)
FLUX SOLIDES	AGRICULTURE	Cultures intensives (excès de sédiment fins)	Indice d'érosion des sols pondéré par le type de culture dominante	INRA, IFEN 1998 OTEX RGA 2000	Zones hydro
	ENERGIE TOURISME	Barrages	Volume de sédiments stocké dans le bassin versant amont Mm^3/km^2 Cumul des surfaces des sous-bassins interceptés rapporté à la surface du bassin versant amont km^2/km^2	Base "barrages"	Drain principal Zone hydro
	URBAIN TRANSPORT	Extractions de granulats Curages	Superficie relative des plans d'eau dans le lit majeur	BD Carthage®	Cours d'eau de rang ≥ 4
			Cours d'eau navigables	BD Carthage®	Réseau hydrographique BD Carthage®
FLUX LIQUIDES	URBAIN	Imperméabilisation des sols	Ratio de surfaces artificialisées dans le bassin versant amont	Corine Land Cover 2000	Drain principal
			Ratio de surfaces artificialisées dans la zone hydrographique	Corine Land Cover 2000	Drain principal V3
	ENERGIE AGRICULTURE URBAIN TRANSPORT TOURISME	Stockage, dérivation, prélèvement	Volume stocké dans le bassin versant amont selon usage : irrigation, énergie ou autre	Base "barrages" du Cemagref	Drain principal
	AGRICULTURE	Prélèvement	Ratio de surface irriguée par canton	RGA 1988 SCEES	Cantons BD GEOFLA®
			Ratio de surface drainée par canton	RGA 1988 SCEES	Cantons BD GEOFLA®
MORPHOLOGIE	TRANSPORT	Stabilisation Recalibrage Rectification Digues	Longueur cumulée des voies de communication dans le lit majeur rapportée au linéaire de cours d'eau km/km	IGN ROUTES500®	Cours d'eau de rang ≥ 4
	URBAIN		Ratio des surfaces artificialisées dans le lit majeur	Corine Land Cover 2000	Zones hydro
	AGRICULTURE		Ratio des surfaces d'agriculture intensive dans le lit majeur		
	URBAIN		Ratio du linéaire de petits cours d'eau traversant des surfaces artificialisées		
	AGRICULTURE		Ratio du linéaire de petits cours d'eau traversant des zones d'agriculture intensive		

 : Données utilisées dans le cadre de l'analyse dédiée à l'Etat des Lieux

2.1.2. Données de pression au niveau tronçon

2.1.2.1. Principes

La précision des couches géographiques disponibles actuellement et le potentiel technique des logiciels d'information géographique, permettent d'envisager une analyse globale et homogène à l'échelle nationale, avec une précision géométrique compatible avec l'échelle du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau pour certains paramètres.

La source principale des données de cette analyse est la **BD TOPO IGN®**, complétée par des informations issues d'autres bases de données nationales (Tableau 3).

2.1.2.2. Socle du recueil d'information

L'analyse s'appuie sur le réseau TGH, complété ultérieurement par certaines « Très Petites Masses d'Eau » (TPME) fournies par les services des Agences de l'eau.

Ainsi l'analyse concerne un réseau hydrographique comprenant l'ensemble des Masses d'Eau (ME, entières ou partielles) définies dans le cadre de mise en œuvre de la DCE, auquel s'ajoutent quelques autres petits cours d'eau¹.

Il est nécessaire, pour la justesse de l'interprétation, de réaliser cette analyse à une échelle pertinente pour **quantifier les pressions/altérations**, puis les **restituer** sous forme cartographique. Nous avons proposé de récolter et d'analyser les données d'altération à l'échelle d'entités spatiales qui sont des **portions de tronçons géomorphologiquement homogènes**. Ces entités sont nommées **USRA : Unités Spatiales de Recueil et d'Analyse**. Ces USRA ont été reportées sur le tracé des cours d'eau de la BD TOPO IGN®, afin de gagner en précision du tracé (par rapport à la BD Carthage IGN®) et de coïncider au mieux avec les autres données à récolter.

Chaque USRA est dotée d'un identifiant unique, mais également de l'identifiant du tronçon auquel elle appartient, ce qui permet de la repositionner sur le réseau TGH.

L'échelle à laquelle ont lieu les processus géodynamiques fluviaux et leurs effets en termes de morphologie en plan, en long et en travers, est proportionnelle à la taille du cours d'eau. Les USRA ont donc une longueur variable dont le Tableau 2 donne un aperçu.

Tableau 2 : Définition de la longueur maximale des USRA

Rang de Strahler	Longueur maximale des USRA (m)
1	2 500
2	3 500
3	5 000
4	7 500
5	11 500
6	17 000
7	25 000
8	40 000

¹ Il existe quelques différences inter bassin quant aux règles de définition géographique retenues : Loire Bretagne a intégré une bonne partie du petit chevelu à ses masses d'eau ce que n'ont pas fait d'autres Agences

2.1.2.3. Méthode de recueil des données : calculs de paramètres quantitatifs

Les éléments d'intérêts des couches de données sont issus de zones d'extraction de données (zone tampon ou « buffer »), construites autour du réseau hydrographique.

La largeur de ces différents « buffers » est adaptée à la nature des aménagements concernés et des altérations qui leurs sont associées :

- buffer de 10 m et 30 m de part et d'autre de la surface en eau pour l'évaluation de la ripisylve ;
- buffer de 100 m de part et d'autre du cours d'eau pour le repérage des zones artificielles à proximité du lit mineur de façon à être compatible avec la précision de la donnée source (Corine Land Cover) ;
- buffer d'une largeur totale égale à 3 fois la largeur à pleins bords théorique (W) du cours d'eau (3W) pour évaluer les risques liés aux aménagements susceptibles de générer des contraintes immédiates sur le lit mineur ;
- buffer d'une largeur totale égale à 12 fois la largeur à pleins bords théorique du cours d'eau (12W) à l'intérieur d'une zone représentant le fond de vallée topographique pour évaluer les risques liés aux aménagements susceptibles de perturber la dynamique en lit majeur (espace de liberté, plaine d'inondation, annexes hydrauliques).

La méthode de calcul de la largeur à pleins bords théorique des cours d'eau et la délimitation du fond de vallée topographique sont disponibles dans les cahiers techniques SYRAH-CE (Valette et Cunillera, 2010 ; téléchargeable sur le site <https://hydroeco.cemagref.fr/hydromorphologie>).

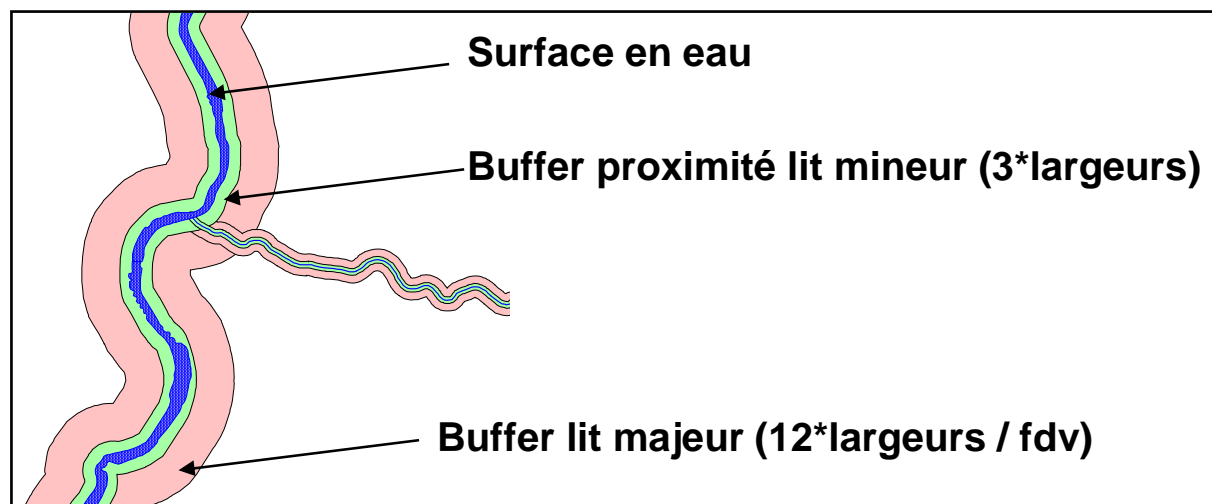


Fig. 3 Zones d'extraction des données (fdv = fond de vallée).

Ensuite, on procède au comptage, cumul des longueurs ou des surfaces des objets préalablement extraits (par intersection spatiale) en vue de construire des descripteurs quantitatifs, comme le montre l'exemple des voies de communications à proximité du lit mineur (Fig.4).

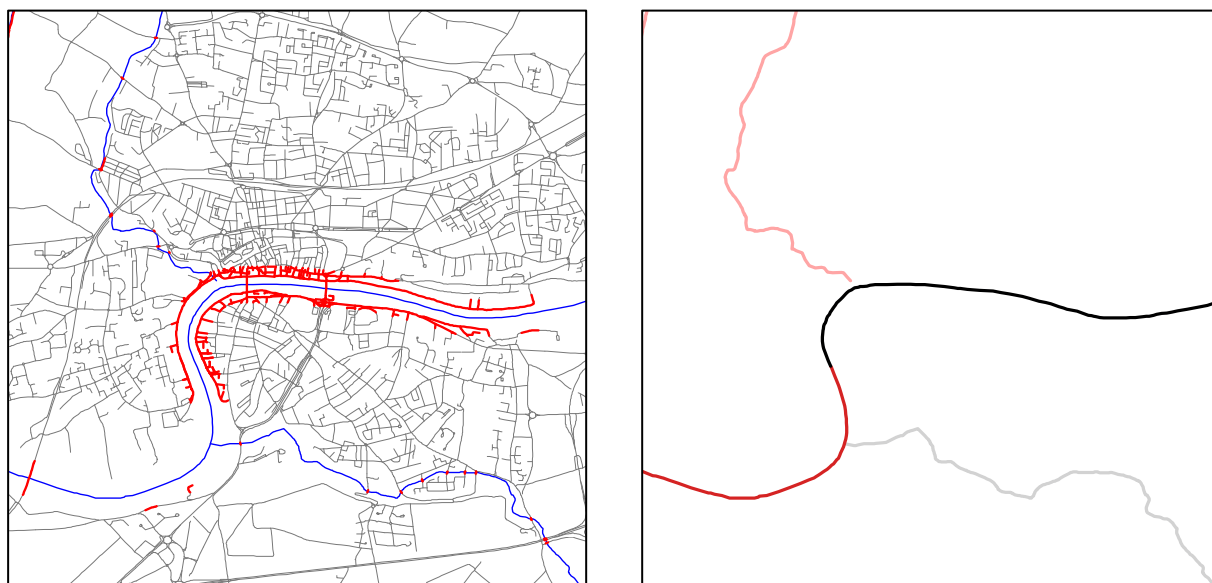


Fig. 4 Intégration de la donnée « voies de communication » à proximité du lit mineur
(3 largeurs de cours d'eau) – variable : Longueur cumulée de voies de communication /
Longueur USRA

Les différents indicateurs construits pour chaque USRA, à partir des données géographiques, sont détaillés ci-après.

2.1.3. Présentation des descripteurs retenus pour l'analyse en vue de l'Etat des Lieux

Dans ce chapitre sont présentés les descripteurs qui ont été retenus pour l'analyse Etat des Lieux, ainsi que leurs méthodologies de construction. Pour faciliter l'interprétation des descripteurs bruts en un gradient de pression, chaque descripteur a été discrétisé (transformé en un nombre variable de classes).

2.1.3.1. Descripteurs issus de l'Atlas à Large Echelle

Pour l'analyse Etat des Lieux, les descripteurs retenus de l'Atlas à Large échelle (Tableau 2) ont été modifiés par rapport aux légendes du rapport éponyme.

- Le descripteur Cumul des surfaces des sous-bassins interceptés rapporté à la surface du bassin versant amont, est discrétisé selon le gradient suivant :
 - o Faible : 0-20 km²/km² ;
 - o Fort : > 20 km²/km².
- L'Indice d'érosion des sols est discrétisé selon le gradient suivant :
 - o Faible : 0 – 0,3 ;
 - o Moyen : 0,3 – 1,3 ;
 - o Fort : > 1,3.
- Le ratio de surface irriguée par canton est discrétisé selon le gradient suivant :
 - o Absence : 0 ;
 - o Présence : >0.
- Les descripteurs Ratio du linéaire de petits cours d'eau traversant des zones d'agriculture intensive et Ratio des surfaces d'agriculture intensive dans le lit majeur ont été regroupés en une variable unique nommée : Linéaire de cours d'eau en zone d'agriculture intensive. Elle est discrétisée en deux classes :

- Faible : 0 – 25% ;
 - Forte : > 25%.
- Les descripteurs Ratio de surfaces artificialisées dans le bassin versant amont et Ratio de surfaces artificialisées dans la zone hydrographique ont été regroupés en une variable unique nommée « Ratio de surfaces artificialisées dans le bassin versant ». Elle est discrétisée selon le gradient suivant :
 - Très faible : < 4% ;
 - Faible : 4 – 20% ;
 - Moyen : 20 – 50% ;
 - Fort : > 50%.

2.1.4. Descripteurs à l'échelle du tronçon

Plusieurs descripteurs ont été développés à partir des données de pression à l'échelle du tronçon ou de l'USRA. Ils sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des descripteurs à l'échelle du tronçon

Descripteur	Zone d'extraction	Sources	Entités concernées	Etude inter-agences
Densité d'obstacles à l'écoulement	Buffer 3W	ROE	Toutes USRA	X
Densité de franchissements	Réseau BD TOPO	BD TOPO®	Toutes USRA	
Présence de voies de communications à proximité du lit mineur	Buffer 3W	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Présence de voies de communications en lit majeur	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Présence de digues à proximité du lit mineur	Buffer 3W	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Présence de digues en lit majeur	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Taux d'occupation du sol de type artificiel à proximité du lit mineur	Buffer 100m	Corine Land Cover (2006)	Toutes USRA	X
Surlargeur des grands cours d'eau	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Rang > 3	X
Présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Rang < 4	X
Présence de plans d'eau déconnectés du réseau hydrographique en lit majeur	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Rang > 2	X
Taux de boisement des berges : Rideau d'arbres	Buffer 10m	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Taux de boisement des berges : Ripisylve	Buffer 30m	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Taux de boisement dans le lit majeur	Buffer 12W/FDV	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Rectitude du tracé en plan	Réseau BD TOPO	BD TOPO®	Toutes USRA	X
Présence d'un grand barrage à l'amont	Tronçon courant + 2 ou 3 tronçons amont	Réseau TGH Base grands barrages (Irstea)	USRA hors TPME	
Présence d'un grand barrage à l'aval	Tronçon courant + 2 tronçons aval	Réseau TGH Base grands barrages (Irstea)	USRA hors TPME	
Présence d'un grand barrage à proximité	Tronçon courant + 2 tronçons amont + 1 tronçon aval	Réseau TGH Base grands barrages (Irstea)	USRA hors TPME	
Présence d'un grand barrage de plus de 15m à l'aval	Tronçon courant + tronçons aval	Réseau TGH Base grands barrages (Irstea)	USRA hors TPME	
Présence d'un barrage écreteur de crue à l'amont	Tronçon courant + 5 tronçons amont	Réseau TGH Base grands barrages (Irstea) Base ouvrages écreteurs (MEDD)	USRA hors TPME	
Navigabilité	Réseau BD TOPO	BD TOPO® BD CARTHAGE®	Toutes USRA	
Densité de pompage/captage	Zone Hydrographique Buffer 500m (Drain Principal)	BD TOPO® BD CARTHAGE®	Toutes USRA	

... : Données utilisées dans le cadre de l'analyse dédiée pour l'Etat des Lieux

La méthodologie de construction de chaque descripteur retenu est présentée ci-dessous.

- **Descripteur : Présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique**

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : HYDROGRAPHIE : SURFACE_EAU

Construction :

Ce descripteur ne concerne que les cours d'eau de taille modeste, c'est-à-dire de rang de Strahler < 4, pour lesquels il n'existe pas de surface correspondant au lit mineur dans la BD TOPO.

Récupération dans le lit majeur (buffer 12W) des polygones de surface en eau (BD TOPO), puis sélection des polygones en contact direct avec le tracé de l'USRA et cumul de leurs surfaces nommé ci-après « surface en eau ».

Nous calculons également la surface correspondant au lit mineur par utilisation d'un modèle de largeurs extrapolées (Valette et Cunillera, 2010).

Formule :

$$\frac{(Surface\ en\ eau\ (km^2) - Surface\ lit\ mineur\ (km^2))}{(Surface\ lit\ majeur\ (km^2) - Surface\ lit\ mineur\ (km^2))} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Descripteur non calculé (pour les rivières de rang de Strahler >= 4) ;
- Absence : 0% ;
- Présence > 0%.

- **Descripteur : Présence de plans d'eau déconnectés du réseau hydrographique dans le lit majeur**

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : HYDROGRAPHIE : SURFACE_EAU

Construction :

Ce descripteur ne concerne que les cours d'eau « importants », c'est-à-dire de rang de Strahler > 2.

Récupération, dans un premier temps, des polygones de la BD TOPO qui représentent le lit mineur.

Dans un second temps, récupération dans le lit majeur (buffer 12W) des polygones de surface en eau (BD TOPO). Puis, sélection de ceux qui ne sont pas en contact direct avec le lit mineur, auxquels nous ôtons ceux dont l'attribut « nature » est « bassin » (il s'agit de STEP ou de bassins à usage industriel) et cumul de leurs surfaces nommé ci-après « surface plans d'eau ».

Formule :

$$\frac{\text{Surface plans d'eau (km}^2\text{)}}{(\text{Surface lit majeur (km}^2\text{)} - \text{Surface lit mineur (km}^2\text{)})} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Descripteur non calculé (pour les cours d'eau de rang de Strahler < 3) ;
- Faible : 0 – 2% ;
- Forte : > 2%.

- **Descripteur : Présence de voies de communications à proximité du lit mineur**

Données utilisées :

BD TOPO IGN[®], thèmes :

- A_RESEAU_ROUTIER : ROUTE
- B_VOIES_FERREES_ET_AUTRES : TRONCONS_VOIE_FERREE

BD CARTHAGE IGN[®], thème : HYDROGRAPHIE_LINEAIRE

Construction :

Récupération à proximité du lit mineur (buffer 3W) :

- des voies ferrées,
- des routes (de nature « Route à 1 chaussée » et plus grande),
- des canaux (code « 3 » du champ « nature » dans la BD CARTHAGE).
- Puis cumul des longueurs de ces différentes voies de communications.

Formule :

$$\frac{\text{Longueur cumulée des voies de communications (km)}}{\text{Longueur de l'usra (km)}} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Faible : 0 - 25% ;
- Moyenne : 25 – 100% ;
- Forte : > 100%.

N.B : Le résultat peut excéder 100% car on considère les voies de communication présentes sur les deux rives du tronçon.

- **Descripteur : Présence de digues à proximité du lit mineur**

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : G_OROGRAPHIE : LIGNE_OROGRAPHIQUE

Construction :

Récupération à proximité du lit mineur (buffer 3W) des digues de tous types et cumul des longueurs.

Formule :

$$\frac{\text{Longueur cumulée des digues (km)}}{\text{Longueur de l'usra (km)}} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Absence : 0% ;
- Faible : 0 - 50% ;
- Forte : > 50%.

- **Descripteur : Surlargeur des grands cours d'eau**

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : HYDROGRAPHIE : SURFACE_EAU

Construction :

Ce descripteur ne concerne que les cours d'eau « importants », c'est-à-dire de rang de Strahler > 3.

Nous calculons la surface correspondant au lit mineur de deux manières différentes :

- premièrement, par récupération des surfaces en eau de la BD TOPO qui correspondent au lit mineur, nommée « surface en eau »,
- deuxièmement par utilisation des valeurs d'un modèle de largeurs extrapolées (Valette et Cunillera, 2010), nommée « surface théorique ».

Formule :

$$\frac{\text{Surface en eau (km}^2\text{)}}{\text{Surface théorique (km}^2\text{)}} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Descripteur non calculé (pour les cours d'eau de rang de Strahler < 4) ;
- Aucune : <= 100% ;
- Faible : 100 – 150% ;
- Forte : > 150%.

• Descripteur : Taux de boisement des berges : Rideau d'arbres

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thèmes :

- F_VEGETATION : ZONE_VEGETATION
- HYDROGRAPHIE : SURFACE_EAU

Construction :

Nous calculons la surface correspondant au lit mineur :

- soit, par récupération des surfaces en eau de la BD TOPO quand elles existent (cours d'eau de plus de 7m),
- soit, pour les petits cours d'eau, par utilisation d'un modèle de largeurs extrapolées (Valette et Cunillera, 2010).

Puis, nous matérialisons ces surfaces en objets géographiques. Autour de ces nouveaux objets, nous créons une zone tampon de 10m (buffer 10m).

Ensuite, récupération dans le buffer 10m des polygones de végétation arborée et cumul des surfaces.

Formule :

$$\frac{\text{Surface cumulée de végétation arborée (km}^2\text{)}}{(\text{Surface buffer 10m (km}^2\text{)} - \text{Surface lit mineur (km}^2\text{)})} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient suivant :

- Très faible : < 10% ;
- Faible : 10 – 30% ;
- Moyen : 30 – 60% ;
- Fort : 60 – 80% ;
- Très forte : > 80%.

- **Descripteur : Taux de boisement des berges : Ripisylve**

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thèmes :

- F_VEGETATION : ZONE_VEGETATION
- HYDROGRAPHIE : SURFACE_EAU

Construction :

Nous calculons la surface correspondant au lit mineur :

- soit, par récupération des surfaces en eau de la BD TOPO quand elles existent (cours d'eau de plus de 7m),
- soit, pour les petits cours d'eau, par utilisation d'un modèle de largeurs extrapolées (Valette et Cunillera, 2010).

Puis, nous matérialisons ces surfaces en objets géographiques. Autour de ces nouveaux objets, nous créons une zone tampon de 30m (buffer 30m).

Ensuite, récupération dans le buffer 30m des polygones de végétation arborée et cumul des surfaces.

Formule :

$$\frac{\text{Surface cumulée de végétation arborée (km}^2\text{)}}{(\text{Surface buffer 30m (km}^2\text{)} - \text{Surface lit mineur (km}^2\text{)})} \cdot 100$$

Résultats :

- Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient suivant :
- Très faible : < 10% ;
- Faible : 10 – 30% ;
- Moyen : 30 – 60% ;
- Fort : 60 - 80% ;
- Très forte : > 80%.

- **Descripteur : Taux d'occupation du sol de type artificiel à proximité du lit mineur**

Données utilisées :

CORINE LAND COVER 2006 (source : IFEN)

Construction :

Nous calculons la surface correspondant au lit mineur :

- soit, par récupération des surfaces en eau de la BD TOPO quand elles existent (cours d'eau de plus de 7m),
- soit, pour les petits cours d'eau, par utilisation d'un modèle de largeurs extrapolées (Valette et Cunillera, 2010).

Puis, nous matérialisons ces surfaces en objets géographiques. Autour de ces nouveaux objets, nous créons une zone tampon de 100m (buffer 100m).

Ensuite, récupération dans ce buffer 100m des polygones représentant une occupation du sol artificielle (code « 1* » de la nomenclature CLC) et cumul des surfaces.

Formule :

$$\frac{\text{Surface artificialisée cumulée (km}^2\text{)}}{\text{Surface buffer 100m (km}^2\text{)} - \text{Surface lit mineur (km}^2\text{)}} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient de pression croissant :

- Absence : 0% ;
- Faible : 0 – 10% ;
- Fort : > 10%.

• Descripteur : Rectitude du tracé en plan

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : HYDROGRAPHIE : TRONCON_COURS_EAU

Construction :

Chaque USRA est tout d'abord découpée en unités élémentaires de taille égale, appelée Unités Spatiales d'Intégration. La longueur des USI équivaut à 50 largeurs théoriques du lit mineur (soit 2 sinuosités complètes). Cette longueur évolue donc selon la taille du cours d'eau, comme le récapitule le tableau 4.

Tableau 4 – Longueur des USI selon la taille du cours d'eau

Rang de Strahler	Longueur moyenne des USI (m)
1	200
2	300
3	500
4	750
5	1500
6	2750
7	4750
8	8500

Nous calculons ensuite la distance en ligne droite entre les points amont et aval de chaque USI (Distance amont-aval). Ce qui permet de calculer leurs coefficients de sinuosité grâce à la formule suivante :

$$\frac{\text{Longueur de l'USI (km)}}{\text{Distance amont / aval (km)}}$$

Le descripteur de rectitude repose sur la proportion, pour chaque USRA, d'USI rectilignes, c'est-à-dire qui ont un coefficient de sinuosité inférieur à 1,05.

Formule :

$$\frac{\text{Nombre d'USI rectilignes}}{\text{Nombre total d'USI}} \cdot 100$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient suivant :

- Faible : < 20% ;
- Moyenne : 20 – 50% ;
- Forte : > 50%.

• **Descripteur : Présence d'un grand barrage à l'amont (3 tronçons)**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Positionnement des barrages sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'amont et dans les tronçons voisins à l'amont jusqu'à l'ordre 3.

NB : Les éventuels affluents sont pris en compte dans les voisins amont.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

- **Descripteur : Présence d'un grand barrage à l'amont (2 tronçons)**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Positionnement des barrages sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'amont et dans les tronçons voisins à l'amont jusqu'à l'ordre 2.

NB : Les éventuels affluents sont pris en compte dans les voisins amont.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

- **Descripteur : Présence d'un grand barrage à l'aval (2 tronçons)**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Positionnement des barrages sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'aval et dans les tronçons voisins à l'aval jusqu'à l'ordre 2.

NB : Les éventuels affluents ne sont pas pris en compte dans les voisins aval.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

- **Descripteur : Présence d'un grand barrage à proximité (2 tronçons amont et 1 tronçon aval)**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Positionnement des barrages sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'amont, dans les tronçons voisins à l'amont jusqu'à l'ordre 2 et dans le tronçon voisin immédiatement à l'aval.

NB : Les éventuels affluents sont pris en compte dans les voisins amont mais pas dans le voisin aval.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

• Descripteur : Présence d'un grand barrage de plus de 15 m à l'aval

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Sélection des ouvrages ayant une hauteur (sur terrain naturel) excédant 15 m et positionnement des barrages retenus sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'aval et dans les tronçons voisins à l'aval sans limite d'ordre, c'est à dire jusqu'à l'embouchure.

NB : Les éventuels affluents ne sont pas pris en compte dans les voisins aval.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

• Descripteur : Types d'usage d'un grand barrage à l'amont (3 tronçons)

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Positionnement des barrages sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'amont et dans les tronçons voisins à l'amont jusqu'à l'ordre 3.

Récupération de l'usage le plus impactant du barrage.

NB : Les éventuels affluents sont pris en compte dans les voisins amont.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en quatre classes :

- Irrigation
- Alimentation en eau potable
- Autre
- Absence

- **Descripteur : Présence d'un barrage écrêteur de crue à l'amont (5 tronçons)**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Base des ouvrages écrêteurs fournie (2011) par le Ministère en charge de l'écologie
Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Orientation du réseau et création d'une matrice de voisinage du réseau avec ordination des voisins.

Sélection des ouvrages écrêteurs de crue dans les deux bases et positionnement des ouvrages retenus sur les tronçons (jointure spatiale).

Détermination, pour chaque USRA, de la présence ou non d'au moins un ouvrage sur le même tronçon à l'amont et dans les tronçons voisins à l'amont jusqu'à l'ordre 5.

NB : Les éventuels affluents sont pris en compte dans les voisins amont.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Présence
- Absence

• Descripteur : Navigabilité

Données utilisées :

BD CARTHAGE IGN®, thème : HYDROGRAPHIE_LINEAIRE

Construction :

Sélection des arcs de la BD Carthage avec la valeur '1' dans le champ 'NAVIGAB'.

Jointure spatiale avec les USRA et conservation des entités jointes.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Navigable
- Non navigable

• Descripteur : Densité de pompage/captage

Données utilisées :

BD TOPO IGN®, thème : D_HYDROGRAPHIE : POINT_EAU

Construction :

Sélection des POINT_EAU dont le champ 'NATURE' est égal à 'Station de pompage' ou 'Source captée' et export dans une nouvelle couche.

Pour chaque point de la nouvelle couche récupération par jointure spatiale :

- du code de la zone hydrographique (BD Carthage, IGN) correspondante ;
- de l'ID USRA du drain principal correspondant (Zone tampon de 500 m) s'il y en a un.

Formule :

Pour les USRA identifiées comme drains principaux :

$$\frac{\text{Nombre de pompage / captage dans la zone hydrographique}}{\text{Superficie de la zone hydrographique (km}^2\text{)}}$$

Pour les autres USRA :

$$\frac{\text{Nombre de pompage / captage dans la zone hydrographique}}{\text{hors ceux possédant un ID drain principal}} \\ \frac{\text{Superficie de la zone hydrographique (km}^2\text{)}}{\text{Superficie de la zone hydrographique (km}^2\text{)}}$$

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en trois classes :

- 0 : Absence
- 0 – 0,022 : Modérée
- 0,0022 : Forte

• Descripteur : Densité pondérée d'obstacles à l'écoulement

Données utilisées :

Réseau TGH

Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (version Novembre 2011) géré par l'ONEMA.

Construction :

Récupération à proximité du lit mineur (buffer 3W) des obstacles à l'écoulement validés et non-validés (exclusion des non-traités) et calcul d'une densité d'obstacles avec la formule suivante :

$$\frac{\text{Nombre d'obstacles à l'écoulement}}{\text{Longueur de l'usra (km)}}$$

Discrétisation des résultats en 3 classes :

- 1 : Absence (0) ;
- 2 : 0 – 1/km ;
- 3 : > 1/km.

Récupération de la valeur de pente du lit mineur du tronçon correspondant du réseau TGH (cf. cahiers techniques SYRAH-CE).

Discrétisation des résultats en 3 classes :

- 1 : 0 – 0,5 ;
- 2 : 0,5 – 1 ;
- 3 : > 1.

Résultats :

Croisement des résultats précédents pour aboutir à 3 classes de densité de seuils pondérée selon le tableau 5 :

Tableau 5 : Calcul de la densité d'obstacles à l'écoulement pondérée

Classe densité d'obstacles à l'écoulement	Classe de pente du lit mineur	Densité d'obstacles à l'écoulement pondérée
1	1	Faible
1	2	Faible
1	3	Faible
2	1	Forte
2	2	Moyenne
2	3	Faible
3	1	Forte
3	2	Forte
3	3	Moyenne

• **Descripteur : Volume stocké dans le bassin versant amont : usages**

Données utilisées :

Base « grands barrages » du Pôle ONEMA/Irstea construite à partir de bases préexistantes (Bardigues, Agences de l'eau, EDF...)

Carte des modules inter-annuels naturels reconstitués (Sauquet, 2005)

Construction :

Récupération pour chaque USRA par jointure spatiale avec l'atlas à large échelle des volumes stockés dans le bassin versant amont selon l'usage : irrigation, énergie et autre. L'usage pour lequel la valeur est la plus élevée est conservé.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en quatre classes :

- Aucun ;
- Irrigation ;
- Energie ;
- Autre.

2.1.5. Données de fonctionnement hydromorphologique

La donnée géographique constituée par le réseau des « tronçons géomorphologiquement homogènes » a fait l'objet d'un recueil de données d'environnement, destinées à caractériser le fonctionnement physique naturel du cours d'eau. Le renseignement de la base de données constituée sur le réseau TGH est explicité dans les « Cahiers techniques SYRAH » (Valette and Cunillera, 2010), document disponible sur <https://hydroeco.cemagref.fr/>.

Cette base de données a été complétée par d'autres descripteurs qui se sont avérés nécessaire pour l'analyse Etat des Lieux.

Ces informations permettent de construire des typologies adaptées à une ou plusieurs réponses, mais aussi d'enrichir et de corriger les données de contraintes anthropiques car la réponse du cours d'eau sera, pour certaines d'entre elles, dépendante du fonctionnement physique naturel, donc de ces données d'environnement naturel.

Les descripteurs retenus dans le cadre de l'Etat des Lieux sont les suivants :

- **Descripteur : Débit solide observé**

Données utilisées :

Réseau TGH

Couche de bancs relevés sur la BD ORTHO® IGN sur un échantillon de tronçons (cf. Cahiers techniques SYRAH-CE, Valette et Cunillera, 2010).

BD CARTHAGE® IGN : Sous-secteurs hydrographiques

Construction :

Récupération par jointure spatiale pour chaque tronçon échantillonné du code du sous-secteur hydrographique correspondant, puis pour chaque sous-secteur récupération de la valeur maximale d'intensité de bancs (cf. Cahiers techniques SYRAH-CE).

Pour les sous-secteurs ne comptant aucun tronçon de l'échantillon, la valeur est la moyenne des valeurs des sous-secteurs adjacents.

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient croissant de débit solide observé :

- Faible : $\leq 0,01$;
- Fort : $> 0,01$.

- **Descripteur : Altitude**

Données utilisées :

BD ALTI IGN®, MNT 50m

Hydroécorégions (HER) de niveau 2

Construction :

Sélection des HER de niveau 2 correspondant aux grands massifs montagneux.

Pour chaque massif, extraction des cellules du MNT ayant une valeur d'altitude supérieure à la limite de végétation et vectorisation des résultats en polygone :

- Alpes Nord : 2000m
- Alpes Sud : 2100m
- Pyrénées : 1800m
- Massif central : 1500m
- Vosges : 1200m

Intersection des USRA avec les polygones obtenus.

Les USRA ayant plus de 20% de leur linéaire au-dessus de la limite de végétation sont conservées.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Montagne
- Faible

- **Descripteur : Caractéristique du débit estival naturel**

Données utilisées :

Données issues de l'étude « Cartographie des écoulements mensuels moyens en France » (Sauquet, 2006).

Construction :

Récupération par jointure spatiale sur chaque USRA de la valeur du débit mensuel moyen spécifique (c'est à dire divisé par la surface du bassin versant, l.s.km²) du mois d'été pour lequel le débit est le plus faible. Les valeurs sont récupérées :

- sur l'arc BD Carthage correspondant pour les Drains Principaux ;
- à la zone hydrographique BD Carthage pour les autres cours d'eau.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Débit estival fort : $\geq 0,25 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$
- Débit estival faible : $\leq 0,25 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$

- **Descripteur : Nature lithologique de l'encaissant**

Données utilisées :

Carte géologique 1/1 000 000 vectorisée BRGM®

Construction :

Extraction des polygones correspondant aux alluvions récentes de la carte géologique vectorisée.

Puis intersection entre ces polygones et les USRA et calcul de la longueur sur alluvions pour chaque USRA.

Ne sont conservées que les USRA qui possèdent plus de 20% de leur linéaire sur des alluvions récentes.

Résultats :

Les résultats pour ce descripteur se présentent en deux classes :

- Alluvions récentes
- Autre

- **Descripteur : Puissance potentielle du cours d'eau**

Données utilisées :

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Récupération pour chaque USRA des valeurs de pente de la vallée et de débit spécifique de crue du tronçon correspondant du réseau TGH (cf. cahiers techniques SYRAH-CE).s⁻³

Formule :

$$\text{Pente de la vallée (m/m)} \cdot \text{débit spécifique de crue (l.s - 1.km}^2\text{)} \\ \cdot 9810 \text{ (N.m - 3, poids volumique de l'eau)}$$

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur selon le gradient croissant de puissance :

- Très faible : < 5 ;
- Faible : 5 – 20 ;
- Forte : > 20.

Descripteur : Rang de Strahler

Données utilisées :

Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (TGH)

Construction :

Récupération pour chaque USRA du rang de Strahler du tronçon correspondant du réseau TGH (cf. cahiers techniques SYRAH-CE).

Résultats :

Nous proposons de discrétiser le descripteur différemment selon les paramètres considérés :

- Soit :
 - Petit : <= 3 ;
 - Moyen : 4 ;
 - Grand : 5 ;
 - Très grand : > 5.
- Soit :
 - Petit : <= 3 ;
 - Grand : > 3.

2.1.6. Données disponibles – utilisation potentielle

On dispose à ce stade, d'un ensemble d'informations, construit à partir de données pertinentes à des échelles différentes et dont la précision spatiale et la qualité sont variables :

- des données à Large Echelle (zone hydro environ 100 km²) d'une part, apportant des informations de contexte à caractère général,
- des données de pressions et des données de fonctionnement hydromorphologique décrites à l'échelle kilométrique, apportant des informations descriptives sur les pressions s'exerçant sur des tronçons de cours d'eau.

Ces informations constituent un ensemble **homogène et comparable au niveau métropolitain**, et donnent une image relative des contraintes s'exerçant sur les cours d'eau par rapport au fonctionnement physique naturel, à partir de laquelle peuvent être déduites des premières notions d'altération potentielle de ce fonctionnement.

En l'état, elles constituent une première base d'informations valorisable par les acteurs de la gestion des milieux aquatiques, à condition que ceux-ci en maîtrisent bien la nature et fassent bien la part entre la notion d'altérations potentielles de l'hydromorphologie des cours d'eau qu'elles permettent d'apprécier, d'une part, et son état réel de dégradation, d'autre part.

Les étapes à franchir pour atteindre ce deuxième objectif sont :

- la mise à plat de l'information de pressions à une échelle de gestion pour les utilisateurs potentiels ;
- la prise en compte des éléments de fonctionnement physique des cours d'eau afin de pondérer cette information ;
- la pondération relative de ces différentes informations dont certaines sont redondantes, et d'autres, au contraire, très déterminantes en termes d'impact sur le fonctionnement physique des cours d'eau (processus et structures résultantes).

2.2. Application (sur socle commun)

L'échelle la plus adaptée est l'USRA, unité de base de l'analyse des pressions sur le réseau, à la fois parce qu'elle représente une échelle spatiale perceptible sur le terrain, et aussi parce qu'elle permet de conserver un potentiel de réaggrégation à différents niveaux correspondant à des échelles de gestion (masse d'eau, bassin versant...).

Chaque USRA est donc renseignée tant au niveau des informations de contexte (Atlas Large Echelle) qu'en termes de variables de pressions et de données relatives au fonctionnement hydromorphologique. Cette base de données géographique constitue un outil intermédiaire à partir duquel vont être modélisées les altérations potentielles de l'hydromorphologie, en emboîtant les différentes échelles.

Une procédure d'intégration est proposée de façon à expliciter les pondérations relatives des informations de pression en fonction de leurs effets supposés et attendus (à dire d'expert) sur le fonctionnement physique des cours d'eau.

Par ailleurs, si les données d'origine sont des descripteurs d'activités humaines ou d'aménagements en résultant, très utiles à conserver pour garder la main sur l'origine des dysfonctionnements physiques, l'expression synthétique visée concernera des

potentiels d'altération du fonctionnement physique modélisées; il s'agit d'un cadre descriptif très différent.

En conclusion,

- l'unité spatiale élémentaire d'expression de l'ensemble des informations de contraintes d'origine anthropique est l'USRA. Ensuite, selon l'objectif d'utilisation, les niveaux d'information utiles pourront être les tronçons, les masses d'eau ou les bassins versants ;
- les informations utiles doivent être exprimées en termes plus opérationnels liés aux altérations physiques. Ce qui nécessite d'utiliser une nomenclature adaptée pour permettre la construction d'une relation en descripteurs de contraintes anthropiques et probabilité d'altérations physiques.

2.3. Conclusion : un socle d'informations à rendre lisible

Le processus d'identification thématique et spatialisée des risques d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau peut s'appuyer désormais sur un socle solide de descripteurs de contraintes anthropiques correspondant à deux échelles complémentaires : bassin versant/région et tronçons.

Mais son exploitation reste complexe puisqu'elle repose sur la manipulation d'échelles emboîtées et sur la combinaison de différents paramètres, nécessitant une bonne connaissance des processus de fonctionnement physique ciblés.

Pour pallier cette difficulté et rendre les données plus lisibles pour les gestionnaires, une exploitation synthétique des résultats est proposée à l'échelle de la masse d'eau, pour être au rendez-vous du deuxième cycle d'évaluation de la DCE (Etat des Lieux 2012-2013). On y renseigne les informations permettant d'associer directement **la probabilité d'altération des processus et structures physiques approchés par les éléments de qualité hydromorphologiques décrits dans l'annexe V de la DCE.**

Ceci étant, il ne faut pas perdre de vue que la description des différentes contraintes est liée à la qualité et à l'existence des données. Certaines seront à parfaire, d'autres à construire, défauts pour lesquels il n'est pas réaliste d'envisager une solution dans le calendrier imposé par l'exercice « Etat des Lieux » 2012-2013, mais pour lesquels une marge d'amélioration existe pour le prochain cycle.

3. Modélisation des altérations potentielles

3.1. *Le besoin des utilisateurs*

L'exercice « Etat des Lieux » requis par l'application de la Directive Cadre sur l'Eau a pour but d'identifier le Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux, (RNAOE) qui peut être assimilé dans le cas des cours d'eau hors Masses d'Eau Fortement Modifiées (MEFM), comme le Risque de Non Atteinte du Bon Etat Ecologique. Pour atteindre cet objectif, l'Etat des Lieux doit contenir :

- une description des types et de l'ampleur de pressions présentes sur le bassin ;
- une évaluation de l'incidence de ces pressions sur l'état des masses d'eau.

La démarche SYRAH-CE se propose de fournir aux gestionnaires un outil pour les aider à réaliser cet Etat des lieux.

Parmi les éléments de qualité pour la classification de l'Etat Ecologique, la Directive Cadre (Annexe V 1.1.1.) identifie des éléments hydromorphologiques « soutenant » les paramètres biologiques directement utilisés pour l'évaluation.

Ces éléments de qualité et leurs paramètres élémentaires sont :

- régime hydrologique :
 - hydrologie : quantité ;
 - hydrologie : dynamique ;
 - connexion aux masses d'eau souterraines ;
- continuité de la rivière :
 - continuité biologique : proximité ;
 - continuité biologique : migrateurs ;
 - continuité sédimentaire ;
 - continuité latérale (connexion lit mineur / lit majeur) ;
- conditions morphologiques :
 - variation de la profondeur et de la largeur de la rivière ;
 - structure et substrat du lit ;
 - structure de la rive.

Afin d'atteindre l'objectif général de l'Etat des lieux, c'est-à-dire d'identifier les masses d'eau pour lesquelles l'état de l'un ou l'autre de ces éléments risque de contribuer à une dégradation de l'Etat Ecologique, il apparaît nécessaire d'établir une relation entre les pressions précédemment décrites et ces paramètres élémentaires à l'échelle de chaque masse d'eau.

Ce processus devrait permettre en retour d'identifier les pressions s'exerçant sur les masses d'eau classées en «Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux » (RNAOE), et contribuer ainsi aux réflexions préalables à l'élaboration du programme de mesures de restauration.

Ce schéma d'analyse n'exclut pas pour autant la recherche de liens plus directs entre contraintes d'origine anthropique et réponses des éléments de qualité hydromorphologique. Cependant les éléments de connaissances disponibles actuellement

ne permettent pas de construire de telles relations sur l'ensemble du réseau hydrographique. Il n'en reste pas moins que les tendances que l'on peut observer avec certains éléments de qualité hydrobiologique restent informatives et utiles pour conforter le schéma général proposé par la Directive Cadre.

En résumé, on retiendra que :

- la **masse d'eau** est l'échelle opérationnelle d'identification du RNAOE ;
- une **liste précise d'éléments de qualité hydromorphologique** est décrite dans la Directive Cadre avec leur déclinaison (Annexe V 1.1.1. Conditions normatives des états écologiques),
- l'établissement de **relations pressions-altérations** entre dans la logique de la construction de l'Etat des Lieux ;
- l'outil SYRAH-CE **ne propose pas une évaluation globale unique** de l'état hydromorphologique des masses d'eau.

3.2. *Principe méthodologique*

La construction d'une relation entre contraintes sur l'hydromorphologie (pressions et forces motrices) et éléments de qualité hydromorphologique au sens de la DCE nécessite de prendre en compte :

- les échelles différentes d'acquisition et d'expression des pressions,
- les caractéristiques du fonctionnement physique naturel du cours d'eau concerné,
- les interactions complexes entre les différentes pressions et forces motrices dont l'addition simple risque de surévaluer ou sous évaluer l'impact réel sur le fonctionnement du cours d'eau.

Par ailleurs, il apparaît délicat de construire des relations directes et simples entre les pressions évaluées de façon variable (selon les données disponibles et leur qualité intrinsèque) et les éléments de qualité hydromorphologique, représentations conceptuelles d'un état.

De plus, l'existence d'une pression n'induit pas forcément une altération du fonctionnement physique. En effet, selon son type de fonctionnement, un cours d'eau est plus ou moins sensible aux différentes pressions. De même, des mesures de corrections ont pu avoir été apportées. En conséquence, une approche de type risque, reposant sur un raisonnement probabiliste, a été privilégiée, permettant de donner aux résultats de cette construction complexe une qualification adaptée.

Le problème posé ici consiste à passer d'un ensemble de données de pressions et contraintes d'origine anthropique géolocalisées, à un élément de diagnostic (probabilités d'altération d'un ou plusieurs éléments de qualité hydromorphologique DCE), sachant que les données ne sont pas forcément toutes disponibles ou sont, plus simplement, entachées d'une forte incertitude.

Les réseaux bayésiens constituent une approche possible pour intégrer cette incertitude avec l'avantage de proposer une approche quantitative (Naïm, Willemin et al. 2007). Le principe est de formaliser (par expertise) un modèle qui décrit les liens de causalité entre les variables, et la force de ces liens décrite par des tables de probabilités conditionnelles.

3.3. Les réseaux de probabilité bayésiens

Les réseaux de probabilités bayésiens sont de plus en plus utilisés dans les sciences environnementales, notamment pour modéliser les effets des politiques de gestion et des activités anthropiques sur différents compartiments de l'environnement au sens large. Ces modèles ont l'avantage d'être des outils lisibles au sein desquels peuvent

- être clairement articulées les relations complexes entre variables ;
- être identifiés les manques dans les jeux de données ;
- être comparés les scénarios de gestion et les grandes forces motrices des réponses environnementales identifiées.

La flexibilité de ces modèles, en particulier la possibilité de travailler sur des jeux de données de petite taille ou incomplets ou d'incorporer des données expérimentales, des avis d'expert ou une combinaison des deux, les rend particulièrement efficaces dans le cadre d'un projet de gestion adaptatif.

L'appellation anglaise des réseaux de probabilité bayésiens, Bayesian Belief Network, fait mieux apparaître leur intérêt conceptuel : il s'agit de modèles décrivant le niveau de confiance que l'on accorde aux différentes parties du réseau.

3.3.1. Structure graphique des réseaux bayésiens :

L'écriture d'un réseau de probabilités bayésien repose sur une représentation graphique schématique du système et de son fonctionnement. Ces modèles s'appuient directement sur la théorie des graphes. On distingue deux principaux éléments graphiques.

3.3.1.1. Nœuds :

Les variables d'intérêt dans le fonctionnement du système sont représentées sous la forme de boîtes, appelées « nœuds ». Ce sont des variables aléatoires et leur valeur n'est donc pas considérée comme une quantité fixée, mais on décrit au contraire leur distribution de probabilités, c'est-à-dire la probabilité qu'a cette variable de prendre chacune de ses valeurs potentielles, ou d'appartenir à un intervalle de valeur donné dans le cas des variables continues.

Les réseaux de probabilités bayésiens ne peuvent utiliser directement des variables continues, celles-ci doivent être discrétisées. Cette étape consiste en la description d'intervalles de valeurs, chacun correspondant au final à une classe. On peut construire ces intervalles de façon naïve, en découpant l'espace en intervalles de même taille, par exemple ; ou bien construire ces intervalles en faisant des hypothèses sur le fonctionnement du système, on décrit alors des intervalles de valeurs pour lesquelles le comportement du système est considéré comme stable.

3.3.1.2. Flèches :

Pour décrire des relations causales entre les nœuds, on utilise un système de flèches. Un nœud duquel part une flèche est appelé un nœud parent, un nœud sur lequel pointe une flèche est appelé un nœud enfant. Tracer une flèche d'un nœud parent vers un nœud enfant sous-entend que l'on considère qu'il existe un lien de causalité du nœud parent vers le nœud enfant, autrement dit, on considère que les valeurs possiblement prises par le nœud enfant dépendent des valeurs prises par le nœud parent.

3.3.2. Structure probabiliste des réseaux bayésiens :

3.3.2.1. Table de probabilité conditionnelle

Derrière chaque flèche de la structure graphique, on décrit le lien de causalité par une distribution de probabilités conditionnelles. Cette distribution décrit les probabilités des valeurs possibles d'un nœud enfant, conditionnellement à ses nœuds parents, c'est-à-dire connaissant, même hypothétiquement, la valeur prise par chacun de ses nœuds parents.

On résume cette distribution conditionnelle à l'aide d'une table de probabilités conditionnelles, qui décrit les probabilités pour le nœud enfant de prendre une valeur, et ce pour chaque combinaison de valeurs possibles pour les nœuds parents (fig. 5).

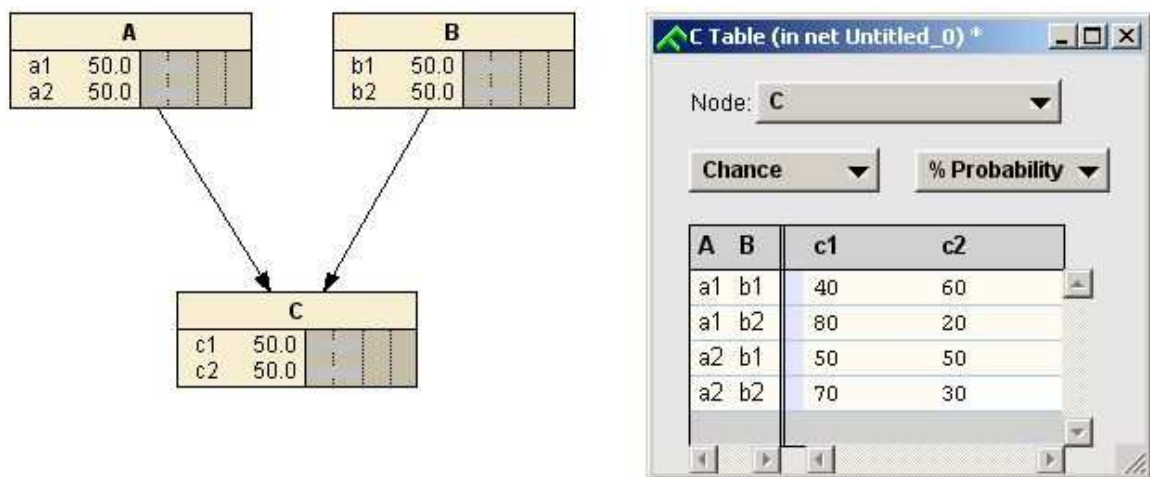


Fig. 5 Exemple de table de probabilités conditionnelles pour un réseau simple.

Il apparaît que plus le nombre de nœuds parents (ainsi que le nombre d'états possibles pour les nœuds, tant parents qu'enfants) augmentent, plus les tables de probabilités conditionnelles deviennent grandes et donc compliquées à renseigner.

3.3.2.2. Notion d'indépendance conditionnelle

Travailler sur des relations conditionnelles présente un avantage majeur. Cela permet de faire intervenir la propriété d'indépendance conditionnelle. Prenons un réseau composé de trois nœuds A, B et C. On dira que A et B sont indépendants conditionnellement à C si et seulement si, lorsque l'état de C est connu, toute connaissance sur B n'altère pas A. (Fig. 6)

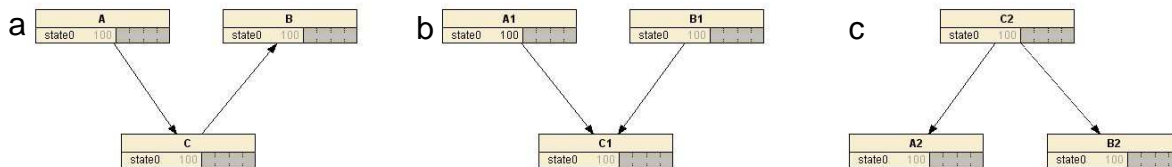


Fig. 6 Types de connexions possibles dans un réseau à 3 nœuds (connexion en série (a), connexion convergente (b), connexion divergente (c)).

De cette propriété découle de fait l'écriture de la loi de probabilité jointe (la loi de probabilité qui décrit les états de toutes les variables du réseau en même temps) qui se résume à un produit de lois de probabilités locales. On peut donc s'appliquer à décrire ces relations locales indépendamment les unes des autres. L'état d'une variable enfant ne nécessite de faire intervenir que les états des nœuds parents, et non de tous les nœuds situés au-dessus dans l'arborescence. La description du système complet naît de la jonction des différentes sous-parties par une relation conditionnelle locale et la description de celle-ci.

3.3.3. Gestion des tables de probabilités conditionnelles

3.3.3.1. Notion de probabilités conditionnelles :

Pour chaque combinaison d'état des nœuds parents, il faut donner une probabilité à chacun des états possibles du nœud enfant considéré. Chaque combinaison d'états des nœuds parents peut-être vue comme une expérience et les probabilités conditionnelles comme le résultat moyen de cette expérience.

Par exemple, prenons une expérience de pile ou face. En l'absence d'information, je m'attends à avoir 50% de chances de faire pile, et 50% de chances de faire face : sur 100 expériences, je réalise en moyenne 50 pile et 50 face (mais l'expérience peut aussi donner 60 piles et 40 faces, ou encore le cas extrêmes de 100 face pour 0 pile, mais la probabilité que ces événements se réalisent est plus faible). A présent, considérons que l'on m'informe que la pièce est peut-être truquée vers les piles. Je dois considérer les deux cas : **si** la pièce n'est pas truquée, j'ai toujours une répartition de probabilités de 50% - 50%, **si** la pièce est truquée, j'augmente la probabilité des piles, mettons par exemple 70% - 30%.

- Cela ne m'assure pas que la pièce est truquée ou pas. Je n'en suis pas sûr, je considère donc les deux cas possibles et je réalise un pari sur le résultat dans les deux cas.
- Que la pièce soit truquée ne m'assure pas que je fasse un pile. J'ai simplement plus de chance à chaque tirage (la probabilité de faire pile, conditionnellement au fait que la pièce soit truquée, a augmenté), mais il arrive régulièrement qu'un tirage donne un face.

On notera $p(B|A)$ (on lit probabilité de B sachant A) la probabilité d'un événement B sachant l'événement A.

Si un nœud A pouvant prendre les valeurs $a1$ et $a2$ est conditionnellement lié à un nœud B pouvant prendre les valeurs $b1$ et $b2$, alors la probabilité que A prenne la valeur $a1$ sachant que B prend la valeur $b2$ sera notée $p(A=a1 | B=b2)$.

3.3.3.2. La formule de Bayes

La formule des probabilités conditionnelles de Bayes est une formule d'inversion des probabilités conditionnelles :

$$p(A|B) = \frac{p(B|A).p(A)}{p(B)}$$

Elle vient de l'expression de la loi jointe de deux événements A et B (c'est la loi qui décrit la probabilité des deux événements A et B conjointement et se note $p(A,B)$) :

$$p(A,B) = p(A|B).p(B) = p(B|A).p(A)$$

De la dernière égalité, on tire immédiatement la formule de Bayes.

Cette formule est intéressante car elle exprime le fait qu'observer un événement sur une variable considérée comme une conséquence nous renseigne sur l'état de la variable considérée comme cause.

3.3.3.3. Renseignement des tables de probabilités conditionnelles

En absence de données complètes : expertise

Il s'agit de remplir ces tables sur la base d'une expertise du fonctionnement du système. On parle de table *a priori*, car décrivant la connaissance du système avant de réaliser l'expérience permettant d'obtenir de la donnée. On décrit alors la connaissance préalable que l'on a du système, ainsi que le niveau de confiance que l'on accorde à cette connaissance. Ces probabilités *a priori* s'interprètent alors comme l'expression des paris probabilistes des experts : donner une probabilité forte à un événement signifie que l'on est à peu près sûr de ce jugement (et donc de l'issue de l'expérience qui sera réalisée plus tard). A l'inverse, donner des probabilités quasi équivalentes aux différents résultats possibles d'une expérience revient à exprimer sa faible confiance dans l'issue de cette expérience.

En présence de données complètes

Dans le cas où l'on dispose d'un jeu de données pour lequel les états de toutes les variables sont renseignés, on peut faire apprendre les tables de probabilités conditionnelles au modèle. Il s'agit alors d'un comptage, pour chaque expérience, de la réalisation des différents résultats, ramenés à des pourcentages. Ce travail peut n'être fait que sur une partie du modèle, localement, en se souvenant de la propriété d'indépendance conditionnelle, si le jeu de données n'est pas complet : il faut a minima que les états de l'ensemble des nœuds parents et du nœud enfant composant une sous-partie indépendante du modèle soient connus.

3.3.3.4. Mise à jour des tables de probabilités conditionnelles : inférence bayésienne

Dans le cas où l'on dispose d'un jeu de données complet, les deux façons de remplir les tables de probabilités conditionnelles ne sont pas incompatibles. Au contraire, la démarche bayésienne permet de mettre à jour les tables de probabilités conditionnelles *a*

priori, en extrayant l'information complémentaire contenue dans le jeu de données. Le résultat de cette mise à jour est une table de probabilités conditionnelles *a posteriori* (obtenue après la réalisation de l'expérience, par opposition aux tables *a priori* obtenues avant la réalisation de cette expérience).

Cette mise à jour repose sur la formule des probabilités conditionnelles de Bayes.

3.3.4. Utilisation

3.3.4.1. Calcul prédictif de probabilités d'états

Une fois le modèle écrit et les tables de probabilités conditionnelles remplies, il est possible d'utiliser un réseau de probabilités bayésiens comme un modèle prédictif. Il s'agit alors de fixer l'état de certains nœuds afin de prédire l'état d'autres nœuds pour lesquels on n'a pas d'observation.

Il est intéressant de noter que cette prédiction peut aller aussi bien dans un sens descendant (les causes du phénomène sont fixées, le modèle prédit les conséquences) que dans un sens ascendant (les conséquences sont observées et donc fixées, le modèle prédit les causes de ces observations).

Les calculs prédictifs reposent intégralement sur les propriétés des probabilités conditionnelles. Le résultat de ces calculs est en fait le barycentre de l'ensemble des cas possibles, pondérés par leurs probabilités d'occurrence. Prenons l'exemple simple d'un modèle à trois nœuds, dont deux parents et un enfant (voir exemple de la Fig.5), chacun ayant deux états possibles : A (a1, a2), B (b1, b2) et C (c1, c2).

Si l'on cherche à prédire l'état du nœud C, on a dans le cas général :

$$P(C=c1) = \frac{p(C=c1|A=a1, B=b1). p(A=a1, B=b1) + p(C=c1|A=a1, B=b2). p(A=a1, B=b2) + p(C=c1|A=a2, B=b1). p(A=a2, B=b1) + p(C=c1|A=a2, B=b2). p(A=a2, B=b2)}{p(A=a1, B=b1) + p(A=a1, B=b2) + p(A=a2, B=b1) + p(A=a2, B=b2)}$$

Ce qui revient à :

$$P(C=c1) = \frac{p(C=c1|A=a1, B=b1).p(A=a1).p(B=b1) + p(C=c1|A=a1, B=b2).p(A=a1).p(B=b2) + p(C=c1|A=a2, B=b1).p(A=a2).p(B=b1) + p(C=c1|A=a2, B=b2).p(A=a2).p(B=b2)}{p(A=a1).p(B=b1) + p(A=a1).p(B=b2) + p(A=a2).p(B=b1) + p(A=a2).p(B=b2)}$$

Et de même, on a :

$$P(C=c2) = \frac{p(C=c2|A=a1, B=b1).p(A=a1).p(B=b1) + p(C=c2|A=a1, B=b2).p(A=a1).p(B=b2) + p(C=c2|A=a2, B=b1).p(A=a2).p(B=b1) + p(C=c2|A=a2, B=b2).p(A=a2).p(B=b2)}{p(A=a1).p(B=b1) + p(A=a1).p(B=b2) + p(A=a2).p(B=b1) + p(A=a2).p(B=b2)}$$

Si l'on fixe l'état a1 pour le nœud A, et l'état b2 pour le nœud B

On a $P(A=a1) = 1$, $p(A=a2)=0$, $p(B=b1)=0$ et $p(B=b2)=1$

Et :

$$P(C=c1) = p(C=c1|A=a1, B=b2)$$

$$P(C=c2) = p(C=c2|A=a1, B=b2)$$

On obtient alors comme résultat les probabilités que l'on pouvait lire dans la table de probabilité conditionnelle de C pour le cas ($A=a_1$, $B=b_2$)

Si l'un des nœuds parent est incertain, par exemple A n'est pas observé

On a alors une distribution de probabilité sur le nœud A, mais on a toujours $p(B=b_1)=0$ et $p(B=b_2)=1$. Les résultats pour le nœud C deviennent :

$$P(C=c_1) = p(C=c_1|A=a_1, B=b_2).p(A=a_1) + p(C=c_1|A=a_2, B=b_2).p(A=a_2)$$

et

$$P(C=c_2) = p(C=c_2|A=a_1, B=b_2).p(A=a_1) + p(C=c_2|A=a_2, B=b_2).p(A=a_2)$$

Les probabilités de la table de probabilités conditionnelles sont bien pondérées par les probabilités des cas possibles des nœuds parents.

3.3.4.2. Distribution de probabilités prédite

On constate que pour les nœuds inconnus, on exprime une **distribution de probabilité prédite** : on exprime une probabilité pour chacune des modalités possibles de ce nœud. On peut donc déterminer la **modalité la plus probable** qui est la modalité pour le nœud concerné qui a la **plus forte probabilité** d'occurrence, dans le cas envisagé. Toutefois, il s'agit d'une vision assez réductrice et résumée des résultats.

Il est intéressant de conserver le lien avec la distribution complète, car elle donne une information complémentaire très importante : le **niveau de confiance** associé au résultat.

En effet, que la modalité la plus probable ait une probabilité d'occurrence très élevée ne signifie pas la même chose que si deux ou trois états ont des probabilités sensiblement identiques. Dans le premier cas, on accorde un niveau de confiance élevé au résultat, tandis que dans le second, il est plus difficile de conclure ou d'accepter la prédiction.

Afin d'estimer ce niveau de confiance, une façon simple de procéder est de considérer les probabilités associées aux deux modalités les plus probables et de calculer l'écart entre ces probabilités. Si cet écart est important, alors la confiance dans la prédiction est plus forte car on hésite moins entre les deux classes possibles. Au contraire, si l'écart est faible, le risque de se tromper en attribuant une classe d'altération augmente (dans le cas extrême, on revient au tirage pile ou face, où chaque événement a une probabilité de 50%. On a alors une chance sur deux de se tromper en pariant sur l'un des événements).

3.3.4.3. Lecture de ces probabilités

De façon générale, les nœuds enfants finaux correspondant aux paramètres élémentaires des éléments de qualité DCE représentent le degré d'altération de ce paramètre. Ce degré d'altération peut être très faible, faible, moyen, fort ou très fort.

Ce sont les probabilités associées à chacun de ces degrés d'altération qui expriment le risque de ce degré d'altération. Par exemple, si un paramètre élémentaire a une probabilité de 70% d'être dans la modalité « forte » (les 30% restant se répartissant évidemment dans les quatre autres modalités très faible, faible, moyen et très fort), on parlera d'un risque élevé d'avoir une altération forte de l'élément de qualité. Si c'est la

modalité très faible qui a une probabilité de 70%, on aura un risque élevé d'avoir une altération très faible sur paramètre.

3.3.4.4. Application à la démarche SYRAH-CE

Dans le cadre de la démarche SYRAH-CE, l'approche bayésienne a été utilisée pour traduire les données brutes (de pressions et de fonctionnement hydromorphologique) en descripteurs des altérations probables de processus et de structures.

Pour chaque paramètre élémentaire issu des éléments de qualités hydromorphologiques de DCE (cf. chapitre « besoin des utilisateurs »), un modèle bayésien a été développé. Chaque modèle a pour sortie un nœud enfant terminal qui représente l'altération potentielle du paramètre associé. Le degré d'altération du paramètre est appréhendé en 5 classes qui représentent l'importance/la gravité de l'altération ciblée.

Pour chacune de ces classes un niveau de risque (probabilités plus ou moins importantes) est associé. Ce niveau de risque est défini grâce à des tables de probabilités conditionnelles construites, pour chaque relation à l'intérieur d'un modèle, par un groupe d'experts pluridisciplinaires.

Attention, il ne faut pas confondre niveau de risque et degré d'altération. Par exemple, dans une situation globale de faible pression, les experts ont pu décider qu'il y avait une forte probabilité ou un fort risque d'avoir un degré d'altération associé très faible. Une probabilité forte représente une certitude forte du groupe d'experts dans la situation donnée.

3.4. Détails des modèles probabilistes par paramètre élémentaire

3.4.1. Élément de qualité : Régime hydrologique

3.4.1.1. Paramètre élémentaire : Hydrologie - Quantité

Le risque d'altération de ce paramètre est approché par la combinaison de trois métriques :

- Impact sur les débits d'étiage ;
- Impact sur le débit moyen ;
- Impact sur les débits de crues fréquentes.

Données utilisées : Descripteur de pompage/captage, Ratio de surface irriguée, Présence et usage d'un grand barrage dans 3 tronçons amont, caractéristique de l'écoulement en été, présence d'un ouvrage écrêteur dans 5 tronçons à l'amont.

Données manquantes : Tronçons court-circuités

Impact sur les débits d'étiage

Le premier facteur de pression retenu est l'irrigation (Ratio de surface irriguée issu de l'Atlas LGE). Nous avons fixé le seuil de pression à partir de 5% de la Surface Agricole Utile irriguée. L'irrigation réduit fortement les débits à l'étiage quel que soit le mode prélèvement. Le degré d'altération associé est donc important.

Le second facteur est la densité de points de pompage et/ou de captage. Ce type de prélèvement peut également représenter des quantités importantes. Cependant, en l'absence de données sur les débits ou volumes prélevés, nous avons accordé moins de poids à cette variable.

Pour les cours d'eau importants, la présence d'un grand barrage à l'amont (3 tronçons) est un facteur de pression sur les débits d'étiage. Les différents usages des ouvrages ont été classés selon la gravité de leur impact sur les débits d'étiages et les tables de probabilités adaptées en fonction. Ces usages sont par ordre décroissant de niveau de pression :

- l'irrigation : seul le débit réservé est restitué en période d'étiage ;
- l'alimentation en eau potable : la demande la plus forte se situe en période estivale qui correspond à l'étiage pour de nombreuses rivières françaises ;
- autre : les autres usages ne ciblent pas spécifiquement les débits d'étiage (loisirs, écrêtage de crue, voire peuvent les soutenir (soutien d'étiage, navigation...)).

Le degré d'altération a été pondéré pour les cours d'eau n'ayant pas d'étiage estival. En effet, la plupart des usages à l'origine des pressions ont un impact important en été. Si cela correspond à la période de hautes eaux, l'impact sera moins important, notamment pour les organismes aquatiques.

Impact sur le débit moyen

Il s'agit ici de référencer les tronçons court-circuités. Hors crue majeure, la plupart du débit liquide s'écoule dans la dérivation. Seul le débit réservé est maintenu toute

l'année dans les tronçons court-circuités. Le degré d'altération dans le sens d'une réduction du module associé est très important, en raison du côté très largement artificiel de l'écoulement.

Impact sur les débits de crues fréquentes

L'objectif de cette métrique est de déterminer l'impact sur la fréquence des crues récurrentes, qui sont les principaux moteurs de la dynamique fluviale et écologique (transport solide, auto-épuration, habitats).

La présence d'un ouvrage écrêteur de crue dans les 5 tronçons à l'amont lisse la forme des hydrogrammes des crues fréquentes (l'impact sur les crues exceptionnelles est négligeable pour la plupart des ouvrages concernés). Le pic de crue moins élevé entraîne une diminution des capacités morphogènes de la rivière et limite également les débordements nécessaires à certains organismes aquatiques. La diversité des ouvrages concernés (du petit barrage sec de protection urbaine au grand ouvrage écrêteur des Alpes) et l'absence d'une donnée homogène sur leurs capacités de rétention, nous oblige à traiter cette information en deux classes : effet sur la diminution de la fréquence des crues ou absence d'effet. L'altération associée est importante en raison du caractère essentiel des crues fréquentes pour le maintien d'une dynamique fluviale active, notamment pour les petits systèmes.

Le second facteur concerne l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des crues récurrentes. La pression associée est le ratio de surface artificialisée dans le bassin versant. L'augmentation de l'artificialisation est à l'origine d'une réduction, qui peut être très importante, du temps de concentration des crues. Il en résulte une hausse de la fréquence des crues, ainsi qu'une augmentation du débit de pointe qui peuvent avoir des conséquences graves en termes d'incision. L'effet est plus important sur les petits cours d'eau.

Le degré d'altération attendu est fonction de la combinaison des deux facteurs précédents avec leurs effets sur l'augmentation ou la diminution de la fréquence des crues à temps de retour faible.

3.4.1.2. Paramètre élémentaire : Hydrologie - Dynamique

Le risque d'altération de ce paramètre est approché par la combinaison de deux métriques :

- la modification de la saisonnalité ;
- la modification du régime journalier.

Données utilisées : Volume stocké dans le bassin versant amont selon usage (irrigation, énergie ou autre).

Données manquantes : Présence d'un ouvrage de pointe dans 3 tronçons amont et présence d'une confluence avec un cours d'eau de rang n ou $n-1$ dans 3 tronçons amont.

Les pressions identifiées comme ayant un impact sur la modification de la saisonnalité, c'est à dire du régime hydrologique naturel d'un cours d'eau, sont le volume d'eau stocké dans des réservoirs de barrages à l'amont et l'usage principal de ce stock d'eau. Plus le volume d'eau retenu est important, plus le risque d'altération associé est

fort, en termes de décalage temporel entre le stockage et la restitution du volume d'eau retenu, par rapport à l'écoulement naturel.

L'usage du barrage permet de pondérer l'importance de l'altération. L'usage le plus impactant retenu est l'irrigation qui entraîne un stockage en période de hautes eaux et pas ou peu de restitution à l'étiage. Le second usage est la production hydroélectrique qui concerne surtout des ouvrages situés dans les massifs montagneux. Le stockage a lieu en période de hautes eaux (été pour les systèmes alpins et pyrénéens et automne pour les autres) et la restitution a lieu en hiver (demande plus forte en électricité), qui correspond à la période d'étiage des cours d'eau des grands massifs montagneux. En ce qui concerne les autres usages, les effets sont moins marqués et plus difficilement traduisibles en termes de modification du régime annuel. Le risque associé est donc plus modéré.

La seconde métrique concerne la modification de la dynamique hydrologique journalière ou le fonctionnement par éclusées. Cette variable est caractérisée par la présence ou non d'une usine hydroélectrique de pointe dans les trois tronçons immédiatement à l'amont. Il convient de noter que la biologie est potentiellement très affectée par les éclusées, qui représentent donc une altération forte. Cependant l'arrivée d'un affluent important, non affecté par les éclusées, entre l'usine et le tronçon concerné, peut diminuer ce risque d'altération.

Dans le croisement des deux métriques, nous avons accordé un poids plus important à la modification du régime journalier, en raison de son effet avéré sur les organismes aquatiques.

3.4.1.3. Paramètre élémentaire : Connexion aux masses d'eau souterraines

Il s'agit, pour ce paramètre, de déterminer le risque d'altération de la connexion entre la rivière et la ou les nappes alluviales ou nappes d'accompagnement. Nous ne nous intéressons pas ici aux relations entre le cours d'eau et les aquifères profonds ou karstiques. Celles-ci dépendent d'une connaissance approfondie, qui n'existe pas de manière homogène sur le territoire national, des points de contacts entre les différents systèmes. Un travail est mené sur ces problématiques par le BRGM.

Données utilisées : Nature lithologique de l'encaissant, rectitude du tracé en plan, présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, caractère navigable du cours d'eau, présence d'un barrage dans 2 tronçons aval et présence d'un barrage dans 2 tronçons amont.

Le premier paramètre discriminant retenu est la nature lithologique de l'encaissant. Si la rivière ne s'écoule pas sur des alluvions récentes (donnée issue de la carte géologique de la France au 1/1000000 du BRGM), alors nous considérons qu'il n'y a pas de risque d'altération, car la rivière ne possède pas de nappe alluviale importante. Dans le cas contraire, le risque est évalué en fonction des paramètres suivants :

- Le caractère navigable de la rivière induit une forte probabilité que la connexion aux masses d'eau souterraines soit fortement altérée. En effet, l'endiguement, souvent en « dur », réduit considérablement les échanges nappes / rivières par les berges, tandis que le dragage du fond entraîne un enfouissement du lit. Les conséquences sont une réduction de la capacité de soutien d'étiage par la nappe en

raison de l'abaissement du toit de la nappe alluviale et également une recharge moindre pendant les épisodes de crue.

- La présence d'un grand barrage dans les deux tronçons immédiatement à l'aval est également assez fortement associée à un niveau d'altération important. Il y a, en effet une forte probabilité de se retrouver dans la zone de remous, avec un lit majeur ennoyé et donc des échanges nappe / rivière complètement modifiés.
- La présence d'un grand barrage à l'amont (2 tronçons) engendre également une probabilité importante que la connexion entre rivière et nappe soit fortement altérée. En effet, le blocage du transit sédimentaire par le barrage induit un fort risque d'incision à l'aval. Cette incision a pour conséquence l'abaissement du toit de la nappe alluviale. De plus, le phénomène peut se poursuivre jusqu'à l'affleurement du substratum et donc une réduction importante, voire une disparition, de la nappe alluviale.
- Les anciennes extractions ou gravières, approchées par le descripteur présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, sont les indices d'une très probable incision. Les gravières drainent la nappe à la place du cours d'eau. Cependant, l'altération associée est plus modérée, car s'il y a eu des extractions en lit mineur, voire si elles perdurent en lit majeur, le secteur concerné possède des sédiments en abondance et donc probablement une nappe alluviale conséquente.
- Le dernier paramètre retenu est la rectitude du tracé en plan. Elle traduit en effet une modification du profil en long de la rivière et donc un risque d'incision potentiel. Elle est également souvent accompagnée de travaux, de type curage ou recalibrage, qui vont avoir tendance à entretenir le caractère incisé du cours d'eau et ses conséquences sur la nappe d'accompagnement. Ce paramètre étant une approche indirecte, le degré d'altération associé est modéré.

3.4.2. Élément de qualité : Continuité de la rivière

Il s'agit, pour les deux paramètres suivant, d'une première approche de la continuité biologique de la rivière. En effet, les bases de données concernant les obstacles à l'écoulement sont en cours de construction et possèdent de nombreuses lacunes, pourtant essentielles pour évaluer les impacts sur la continuité. Tout d'abord, le recensement des obstacles n'est pas exhaustif, et la hauteur des ouvrages est peu renseignée, de même que leur franchissabilité potentielle (hauteur d'eau selon les conditions hydrologiques ou présence de passe à poissons).

Un outil spécifique est en cours de développement à l'Onema : l'Indice de Continuité Ecologique. En attendant cet outil, notre approche de type « risque » permet d'identifier grossièrement les secteurs potentiellement impactés. Dans le cadre de l'état des lieux, nous préconisons l'utilisation de bases de données locales plus précises, si elles existent.

3.4.2.1. Paramètre élémentaire : Continuité biologique : migrateurs

Données utilisées : Présence d'un barrage d'une hauteur supérieure à 15 m à l'aval, densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente de la rivière.

En ce qui concerne les migrateurs, la variable principale retenue est la présence d'un ouvrage infranchissable sur le parcours de montaison, traduit par la présence d'un

barrage d'une hauteur supérieure à 15 m à l'aval du tronçon considéré. Le degré d'altération associé à la présence d'un tel ouvrage est fort à très fort.

La deuxième variable retenue est la présence de nombreux petits obstacles qui ne facilitent pas la remontée ou la dévalaison des poissons migrateurs. Le descripteur qui a servi à quantifier la probabilité d'altération est la densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente de la rivière. La pondération par la pente permet de palier l'absence de données homogènes sur la hauteur des ouvrages, en donnant une idée du linéaire impacté. En effet, à hauteur égale, plus la pente du cours d'eau sera faible, plus long sera le linéaire impacté (zone de remous à l'amont et probable incision à l'aval). Le degré d'altération associé est plus faible que pour les obstacles infranchissables.

3.4.2.2. Paramètre élémentaire : Continuité biologique : proximité

Données utilisées : Présence d'un barrage dans le tronçon amont ou dans deux tronçons aval, densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente de la rivière.

Ce paramètre a été construit de façon similaire à la continuité biologique des migrateurs, l'accent étant mis plutôt sur la gêne potentielle de la montaison / dévalaison à l'échelle de quelques tronçons de cours d'eau. Nous gardons donc la variable : densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente de la rivière. Par contre, la seconde variable est la présence d'un grand barrage sur le tronçon concerné, le tronçon amont et les deux tronçons aval.

3.4.2.3. Paramètre élémentaire : Continuité sédimentaire

L'altération de la continuité du transit sédimentaire a deux causes distinctes :

- la présence d'obstacles bloquant ou piégeant la charge solide ;
- la réduction de la capacité de charriage du cours d'eau.

Données utilisées : Surlargeur des grands cours d'eau, présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique, densité pondérée d'obstacles à l'écoulement, présence d'un barrage dans 2 tronçons amont, débit solide observé, rang de Strahler.

La réduction de la capacité de charriage est associée aux secteurs où le bilan sédimentaire est localement très excédentaire. Il en résulte des zones d'exhaussement du fond du lit qui présentent une pente très faible et une largeur très importante, le cours d'eau n'ayant plus assez de puissance pour mobiliser les sédiments les plus grossiers (sauf épisode de crue exceptionnel). Le descripteur de surlargeur permet, pour les cours d'eau de rang supérieur ou égal à 4, d'identifier les tronçons présentant un risque potentiel de rupture du transit sédimentaire.

Attention, il s'agit bien ici de déterminer les zones d'exhaussement non naturelles. Certains tronçons présentent naturellement ces caractéristiques : rivières en tresses naturellement très fournies en sédiments grossiers ou zones de piémont présentant une importante rupture de pente. Ces surlargeurs et/ou exhaussements ne sont pas, dans ces cas, des altérations.

Le blocage du transit sédimentaire est dû principalement à la présence d'ouvrages. Une altération importante est donc associée à la présence d'un grand barrage à l'amont

(2 tronçons) qui bloque la majeure partie de la charge grossière en transit. De la même façon, une densité importante d'obstacles à l'écoulement (notamment si la pente est faible) va ralentir, voire bloquer le transport solide, surtout la fraction la plus grossière. Cependant le degré d'altération associé est plus modéré que pour la présence de barrage.

Les pièges à sédiments sont un autre risque d'altération du transport solide en rivière. Nous les approchons par la présence de plans d'eau sur cours d'eau pour les petits systèmes et par la présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur (gravières) pour les grands systèmes. La présence de gravières indique aussi d'anciennes extractions et donc un déficit sédimentaire et un risque d'incision probables. Le risque que les plans d'eau déconnectés soient captés par la rivière est non-négligeable. Ce qui aboutirait à la formation d'un piège à sédiment sur le tracé du cours d'eau.

Le degré d'altération a été systématiquement diminué si la rivière possède un minimum de bancs alluviaux observables, témoins du transport solide ou au moins d'une certaine dynamique fluviale. Cela peut vouloir dire :

- que les obstacles sont ou sont devenus transparents en termes de transport solide ;
- qu'il existe un stock de sédiments disponible pour le cours d'eau ;
- que la rivière conserve une certaine dynamique fluviale qui favorise les phénomènes d'érosion / dépôt.

Attention toutefois, ces bancs alluviaux repérés par photo-interprétation peuvent avoir une granulométrie trop grosse pour être mobilisés par les capacités actuelles du cours d'eau.

3.4.2.4. Paramètre élémentaire : Continuité latérale

Le risque d'altération de ce paramètre est approché par la combinaison de deux métriques :

- la présence d'obstacles ;
- l'enfoncement du lit.

Il s'agit pour ce paramètre d'évaluer l'état de la connexion lit mineur / lit majeur et notamment l'état de dégradation de la connectivité des annexes hydrauliques.

Présence d'obstacles :

Données utilisées : Présence de voies de communications à proximité du lit mineur, présence de digues à proximité du lit mineur.

La connexion entre le cours d'eau et son lit majeur ou sa plaine alluviale consiste en un transfert d'eau et de sédiments du cours d'eau vers son lit majeur lors des crues (débordements), ou dans l'autre sens en période d'étiage.

La présence de digues est préjudiciable à cette connexion en raison de la limitation des débordements potentiels et donc la perte de connectivité quasi totale avec les annexes hydrauliques du cours d'eau. Or celles-ci sont importantes pour le fonctionnement du cours d'eau car elles permettent de dissiper l'énergie en cas de crue

et sont des habitats privilégiés pour de nombreuses espèces. L'altération peut être plus importante encore, si l'endiguement est construit en « dur » (ouvrages maçonnés) en raison de la perte des échanges nappe/rivière, ou si l'endiguement est beaucoup plus haut que le niveau naturel à pleins bords car il n'y a plus aucun débordement possible.

La présence de voies de communications à proximité du lit mineur traduit une forte probabilité de présence de protections de berges, voire de digues qui ne sont pas toujours référencées comme telles dans la BD Topo, origine de notre donnée. Suivant le type de protection de berges, la dégradation de la connexion est plus ou moins forte. Les cas les plus graves étant des ouvrages maçonnés et les moins impactants étant plutôt les techniques végétales douces.

Enfoncement du lit :

Données utilisées : présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, présence de barrage dans 2 tronçons aval, rectitude du tracé et puissance de vallée.

Un enfoncement du lit, principalement en conséquence d'un phénomène d'incision, réduit la fréquence des débordements et abaisse le niveau de la nappe alluviale. Cette incision peut être provoquée par des extractions massives en lit mineur (avant 1994) et/ou en lit majeur. Les tronçons de cours d'eau bordés par des gravières (plans d'eau déconnectés en lit majeur) sont donc associés à une altération importante de la continuité latérale. De même que les cours d'eau à pente de vallée faible et présentant un taux de rectitude forte, en raison du risque d'incision dû à une très probable rectification du tracé.

La présence d'un grand barrage dans les deux tronçons immédiatement à l'aval entraîne une forte probabilité que le tronçon concerné se situe dans la zone de remous. Cela a pour effet une modification des séquences naturelles de faciès vers une prédominance des faciès lenticulaires et profonds, voire une transformation en plan d'eau et donc une dynamique latérale extrêmement réduite. Les échanges nappe / rivière sont profondément modifiés, notamment dans la zone ennoyée.

3.4.3. Elément de qualité : Conditions morphologiques

3.4.3.1. Paramètre élémentaire : Variation de la profondeur et de la largeur de la rivière

L'altération de ce paramètre est approchée par la combinaison de deux métriques :

- l'augmentation de la profondeur en crue du lit ;
- la réduction de la profondeur à l'étiage ou élargissement du lit.

Il s'agit bien, pour ce paramètre, d'identifier les altérations de la géométrie hydraulique d'origine anthropique, sans tenir compte des variations naturelles en fonction des variables de contrôle de la géomorphologie fluviale.

Réduction de la profondeur à l'étiage :

Données utilisées : Surlargeur des grands cours d'eau, taux d'occupation du sol de type artificiel à proximité du lit mineur, ratio du linéaire de petits cours d'eau traversant des zones d'agriculture intensive, rectitude du tracé en plan et rang de Strahler.

La réduction de la profondeur à l'étiage ou l'élargissement du cours d'eau se traduisent par une réduction de la puissance du cours d'eau en termes de potentialité de transport solide (zones de dépôts de sédiments / exhaussement du fond du lit et risque de colmatage) et de limitation des forces de cisaillement, c'est à dire de la capacité érosive de la rivière.

Pour les grands cours d'eau (Rang > 3), l'altération est tout d'abord approchée directement par le descripteur de surlargeur des grands cours d'eau. Celui-ci indique si la largeur observée est plus ou moins fortement supérieure à la largeur à pleins bords naturelle théorique de ce type de cours d'eau.

Ce descripteur n'existe pas pour les petits cours d'eau.

Pour l'ensemble des cours d'eau, nous considérons à risque, les portions de cours d'eau sur lesquelles il y a des aménagements et usages qui induisent potentiellement un élargissement du lit.

Tout d'abord, les traversées de zones urbaines, périurbaines ou de villages (Taux d'occupation du sol de type artificiel à proximité du lit mineur) représentent des secteurs où la volonté d'empêcher les inondations a entraîné de nombreux recalibrages pour augmenter la capacité d'écoulement.

Les traversées de zones d'agriculture intensive (type agricole petits cours d'eau) sont également des secteurs où les cours d'eau ont été massivement recalibrés, pour limiter les débordements, pour ajuster les niveaux de drainage mais aussi pour réduire l'érosion des terres agricoles (du fait de la réduction de la dynamique latérale).

Nous avons considéré que le risque d'altération de la profondeur à l'étiage augmentait sensiblement quand, dans les secteurs précédemment ciblés, le cours d'eau présente également une rectitude importante. Cette dernière nous permet d'approcher indirectement la rectification des rivières, rectification souvent accompagnée d'un recalibrage du lit à pleins bords.

Augmentation de la profondeur en crue :

Données utilisées : présence de digues à proximité du lit mineur, rectitude du tracé, présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, présence de barrage dans 1 tronçon et 2 tronçons aval, caractère navigable du tronçon.

L'augmentation de la profondeur en crue du lit ou hauteur à pleins bords se fait naturellement très lentement à mesure que le débit ou la surface du bassin versant augmentent et principalement à l'aval des confluences importantes. Un surcreusement artificiel du lit modifie lourdement le profil en travers d'équilibre et donc l'auto-ajustement potentiel de la morphologie de la rivière. Cela se traduit par une baisse de la fréquence des débordements, un abaissement du toit de la nappe alluviale, une augmentation des forces de cisaillement sur le fond du lit (notamment en crue) et une réduction des processus d'érosion latérale.

L'augmentation de la profondeur à pleins bords peut résulter d'actions anthropiques directes. C'est le cas des dragages, altération forte car récurrente, que nous approchons par le caractère navigable du cours d'eau.

Nous avons considéré également l'endiguement étroit de la rivière (descripteur de présence de digues à proximité du lit mineur), qui empêche les débordements et qui se

traduit souvent par une stabilisation des berges, comme une altération importante de la morphologie du lit mineur.

Nous avons considéré une forte rectitude du tracé comme un facteur aggravant d'un risque d'altération forte, car elle augmente nos certitudes quant à une chenalisation du lit mineur (rectification, recalibrage).

L'augmentation de la profondeur en crue du lit peut également résulter de dysfonctionnements des processus naturels de transport solide.

Le premier facteur de risque que nous avons retenu est la présence de plans d'eau dans le lit majeur (descripteur présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur). Ces plans d'eau sont très souvent des gravières, signes d'extractions dans le lit majeur et très probablement d'anciennes extractions en lit mineur (interdites depuis 1994 mais dont les effets peuvent être encore visibles). Les altérations pouvant leur être associées sont l'incision progressive et régressive, la disparition du substrat alluvial, voire des phénomènes de pavage, de réduction du corridor alluvial et d'abaissement du niveau de la nappe d'accompagnement.

La présence d'un grand barrage sur le tronçon considéré ou sur le tronçon immédiatement à l'amont, est également associée à un risque fort d'altération importante de la profondeur en crue du lit. En effet, le blocage du transport solide entraîne un important risque d'incision à l'aval de l'ouvrage.

Le dernier facteur retenu pour approcher l'altération de la profondeur en crue du lit, est la présence d'un grand barrage dans les deux tronçons immédiatement à l'aval. Il y a, en effet, un risque important de se trouver dans la zone de remous de l'ouvrage, avec une profondeur exacerbée en raison de l'enneigement. Nous retrouvons donc des faciès uniquement lenticques et profonds, voire une transformation en plan d'eau.

3.4.3.2. Paramètre élémentaire : Structure et substrat du lit

L'altération de ce paramètre est approchée par la combinaison de quatre métriques :

- La modification de la proportion et de la diversité des faciès d'écoulement ;
- L'altération des caractéristiques du substrat :
 - la réduction de l'épaisseur du substrat ;
 - la modification de la structure granulométrique ;
 - le colmatage du substrat par des fines.

Modification de la proportion et de la diversité des faciès d'écoulement :

Données utilisées : Rectitude du tracé en plan, densité de seuils pondérée, taux de plan d'eau sur cours d'eau, puissance potentielle du cours d'eau et transport solide observé.

Le premier facteur de pression retenu est la densité d'obstacles à l'écoulement qui, quand elle est importante, induit une augmentation de la proportion de faciès lenticques (effet remous en amont des ouvrages). Ces obstacles sont également autant de points durs qui vont bloquer les processus d'ajustement et donc potentiellement réduire la diversité des faciès ainsi que le potentiel d'auto-restauration de la rivière. De façon

générale, les modifications de la proportion ou de la diversité des faciès d'écoulement sont d'autant plus importantes que la pente du cours d'eau est faible.

La présence de plan d'eau sur cours d'eau, paramètre mesuré uniquement sur les petites rivières, se traduit par une altération forte en termes de faciès. En effet, dans les plans d'eau, les faciès normaux d'un cours d'eau disparaissent entièrement. De plus, ces plans d'eau entraînent le même effet de remous qu'un obstacle à l'écoulement. Ils représentent également des pièges à sédiments qui induisent potentiellement un déficit sédimentaire à l'aval et donc une baisse de la diversité des faciès.

Nous avons également identifié un taux de rectitude important comme une pression sur les faciès. Une rectitude forte, non naturelle, traduit une réduction importante, voire une disparition, de la dynamique latérale du cours d'eau et peut potentiellement indiquer une incision. La dynamique latérale est le moteur principal de la diversification des écoulements dans le lit mineur, par apport de sédiments, création de profils en travers dissymétriques et de petites ruptures de pente. Une rectitude importante entraîne donc une uniformisation des faciès d'écoulement.

Le degré d'altération induit par les pressions précédemment citées, peut être pondéré par certaines caractéristiques morphologiques du cours d'eau. Tout d'abord, la puissance de la rivière, approchée ici par la puissance potentielle du cours d'eau, influence beaucoup les processus d'érosion / dépôt. Une rivière puissante a une dynamique latérale et une capacité d'auto-ajustement plus importantes. Le tri granulométrique est également meilleur et propose donc des faciès d'écoulements bien séquencés.

La seconde variable de pondération est le transport solide observé. En effet, la présence de bancs alluviaux visibles sur les photographies aériennes indique des processus d'érosion / dépôt actifs et donc des faciès un minimum diversifiés. De plus, même si ces bancs ont une granulométrie qui dépasse la capacité actuelle de la rivière, ils permettent le maintien d'une dynamique latérale par orientation du flux.

Altération des caractéristiques du substrat

Données utilisées : Présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur, présence de barrage dans 2 tronçons amont, taux de rectitude, transport solide observé, cumul des surfaces des sous-bassins interceptés rapporté à la surface du bassin versant amont, densité pondérée d'obstacles à l'écoulement, puissance de vallée, indice d'érosion des sols, ratio des surfaces d'agriculture intensive, surlargeur des grands cours d'eau, rang.

Les altérations des caractéristiques du substrat étudiées sont :

- la réduction de l'épaisseur du substrat ;
- la modification de la structure granulométrique ;
- le colmatage du substrat par des fines.

Réduction de l'épaisseur du substrat :

La présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur est un descripteur d'extraction en lit majeur et également d'anciennes extractions en lit mineur. Si ces extractions ont cessé, l'impact sur la quantité de sédiment disponible est encore important dans de nombreux cas. Le degré d'altération sur l'épaisseur du substrat associé à la présence de gravières est donc fort à très fort.

Il en est de même en ce qui concerne la présence d'un grand barrage à l'amont du tronçon considéré (2 tronçons) qui bloque quasi-totalement la charge grossière en transit (en fonction du type de vannes équipées et des modes de gestion de l'ouvrage, comme

la périodicité des chasses et des transparences). Le risque de déficit sédimentaire est donc très important.

La réduction de l'épaisseur du substrat peut également découler d'une rectitude importante du tracé en plan du cours d'eau. En effet, l'augmentation de la pente induite, ainsi que la baisse de la dissipation de l'énergie du cours d'eau sur les berges, entraînent des forces de cisaillement accrues sur le fond du lit. Cela peut se traduire par des phénomènes d'incision pouvant aller jusqu'à de l'armurage, du pavage ou l'affleurement du substratum rocheux.

L'altération plus ou moins importante induite par ces trois facteurs de pressions peut être limitée si le stock de sédiments disponible sur place est encore important ou s'il subsiste un certain transit sédimentaire ou une dynamique latérale en cas de rectitude forte. Nous approchons cette pondération par le transport solide observé (bancs alluviaux sur photographies aériennes).

Modification de la structure granulométrique :

La modification de la structure granulométrique peut être résumée par un déficit de la portion la plus grossière de la charge sédimentaire en transit. Ainsi, une importante surface cumulée de sous-bassins interceptés par des barrages engendre un risque très fort de blocage du transit sédimentaire, notamment des éléments les plus grossiers (fonction des modes de gestion de l'ouvrage). Surtout que la même charge peut être bloquée plusieurs fois en cas d'accumulation de barrages.

Une densité importante d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente bloque les particules les plus grossières, notamment par la perte de compétence associée, mais peut être transparente pour les particules plus fines, notamment si le seuil est « rempli ».

Le blocage de la charge grossière par des barrages ou autres obstacles à l'écoulement peut être compensé, au moins en partie, par la disponibilité d'un stock sédimentaire proche des caractéristiques granulométriques naturelles et la capacité du cours d'eau à mobiliser ces alluvions, approchées ici par la présence de bancs alluviaux. Dans ce cas, le risque d'altération forte est diminué.

Une rectitude importante du tracé peut également être à l'origine d'une altération de la structure granulométrique naturelle. En effet, l'augmentation locale de la pente, et donc de la puissance du cours d'eau, a pour conséquence un arrachage des sédiments les plus fins, pouvant conduire à des situations de pavage ou d'armurage. Cependant nous avons retenu ce facteur uniquement en cas d'absence de pression en termes de blocage de la charge grossière et nous lui avons accordé un effet plutôt faible sur les probabilités d'altération (pas de changement de classe du mode).

La puissance potentielle du cours d'eau nous est apparue comme une variable de pondération majeure pour ce paramètre. En effet, la capacité du cours d'eau à remobiliser ou à déstocker des sédiments de toutes tailles permet de compenser le blocage de la charge grossière.

Colmatage minéral du substrat :

Le risque de colmatage du substrat d'origine anthropique (nous ne cherchons pas à caractériser la porosité du substrat qui peut être naturellement très faible, mais l'aggravation anthropique potentielle du phénomène de colmatage minéral) est approché par l'augmentation de l'apport de matériau fin d'une part et par la réduction de la capacité de la rivière à évacuer ce matériau d'autre part.

Nous avons retenu l'indice d'érosion des sols issu de l'Atlas à Large Echelle comme variable de pression engendrant un apport de fines. Il est construit à partir de données

d'érodabilité des sols (pente, occupation du sol et précipitations) et de types de cultures favorisant ou non les sols nus. Cette variable a le poids le plus important pour définir le degré d'altération en termes de colmatage du cours d'eau.

La réduction de la capacité d'évacuation des sédiments fins est approchée différemment selon le rang du cours d'eau. Pour les grands cours d'eau, c'est la variable surlargeur qui a été retenue. Elle entraîne une réduction de la puissance de la rivière, avec notamment une hauteur limitée, ce qui fait des tronçons concernés des zones de dépôts des sédiments ou d'exhaussement, particulièrement favorables au colmatage.

Pour les cours d'eau plus modestes, cette perte de capacité est appréhendée par un couplage entre la rectitude du tracé et l'occupation du sol par de l'agriculture intensive. Notre postulat est que les cours d'eau rectilignes dans ces zones agricoles sont très souvent recalibrés (afin de limiter les érosions de berges et les débordements) et donc moins capables d'évacuer les matériaux fins. D'autant plus que les crues suffisamment importantes pour nettoyer le substrat, sont souvent précédées d'événements pluvieux qui apportent des fines au cours d'eau.

Pour une approche plus réaliste du risque de colmatage, nous avons pondéré tous ces facteurs de risque par la puissance de vallée. En effet, un cours d'eau puissant est naturellement plus compétent pour remettre en mouvement les particules fines, mais également les sédiments plus grossiers qui peuvent être enchâssés. Leur capacité d'auto-restauration est meilleure et leur risque d'être plus ou moins fortement colmaté est plus faible.

Pour déterminer le risque d'altération du paramètre élémentaire structure et substrat du lit nous avons croisé les résultats des 4 métriques suivantes :

- la modification de la proportion et de la diversité des faciès d'écoulement ;
- risque de réduction de l'épaisseur du substrat ;
- risque de déséquilibre granulométrique ;
- risque de colmatage anthropique.

Un poids plus important a été donné aux deux premières métriques en raison de leur impact potentiel plus important sur la biologie.

3.4.3.3. Paramètre élémentaire : Structure de la rive

Le risque d'altération de ce paramètre est approché par la combinaison de deux métriques :

- le niveau d'artificialisation des berges ;
- l'état de dégradation de la ripisylve.

Artificialisation des berges

Données utilisées : Présence de voies de communication à proximité du lit mineur, taux d'occupation du sol de type artificiel à proximité du lit mineur.

L'artificialisation des berges impacte la dynamique latérale potentielle du cours d'eau en bloquant l'érosion des berges. La rivière voit son espace de mobilité restreint et son tracé en plan a tendance à se figer. Nous cherchons à évaluer le risque d'altération des processus naturels d'érosion latérale, sans tenir compte de la plus ou moins forte sensibilité naturelle des berges à ces processus en fonction de la nature du substrat ou de la puissance du cours d'eau.

Nous traduisons cette artificialisation par la présence, plus ou moins importante, de voies de communications à proximité du lit mineur, qui induit quasi-systématiquement des ouvrages de protections de berges, combinée avec le niveau d'urbanisation à proximité du lit mineur, très souvent accompagnée de protections de berges, ainsi que de mesures d'endiguement et d'aménagement paysager.

Un poids plus important est accordé à l'urbanisation qui implique généralement des aménagements beaucoup plus lourds (maçonnerie).

Dégradation de la ripisylve

Données utilisées : Taux de boisement des berges : ripisylve et rideau d'arbres, altitude.

L'état de la ripisylve est évalué par la densité de végétation arborée dans des bandes de 10 et 30 m de chaque côté du cours d'eau. L'objectif est de déterminer si le rideau d'arbre en bord de berges (10 m) et plus généralement la ripisylve (30 m) sont dégradés ou absents. Il est à noter que nous ne possédons pas, à notre échelle de travail, de base de données plus précise concernant les espèces présentes ou la différence entre plantation et forêt naturelle.

Le rideau d'arbre permet de maintenir la cohésion de la berge, de diversifier les écoulements, et donc les faciès, et de limiter les apports de fines venues des versants. Une ripisylve plus développée (corridor écologique) joue un rôle plus important en termes de ralentissement et d'écrêtement des ondes de crues et de maintien du niveau de la nappe d'accompagnement.

En termes de risque d'altération, ces densités de végétation sont pondérées par un critère d'altitude. En effet, au delà de la limite altitudinale de la végétation arborée, l'absence de ripisylve n'est pas une altération, mais représente une situation naturelle. Cette limite a été fixée pour chaque massif montagneux.

3.5. Agrégation à la masse d'eau

L'évaluation du risque SYRAH se fait au niveau de l'USRA. L'état des lieux se positionne quant à lui à l'échelle de la masse d'eau. Il faut donc envisager une règle générale pour produire, à destination des gestionnaires, un risque d'altération des éléments de qualité à l'échelle des masses d'eau.

Le choix a été fait de calculer, classe d'altération par classe d'altération (de très faible à très fort), la moyenne des probabilités associées à ce degré d'altération pour les USRA qui constituent la masse d'eau pondérée par le rapport de longueur de cette USRA sur la longueur de la masse d'eau.

On suppose ainsi qu'une USRA représentant un fort pourcentage du linéaire de la masse d'eau a une plus grande importance sur le degré d'altération de la masse d'eau, qu'une USRA plus courte.

4. Utilisation – Etat des Lieux DCE

4.1. Objectif de l'Etat des lieux

Le document « Guide pour la mise à jour de l'état des lieux » produit et diffusé par le ministère en charge de l'écologie en mars 2012 cite, parmi les finalités de l'exercice de mise à jour de l'état des lieux :

« (...) évaluer à la masse d'eau ou au groupe de masses d'eau, le risque de non atteinte des objectifs d'état (RNAOE) en 2021.. » (paragraphe. I.3)

« Il s'agit donc de livrer des informations pertinentes sur les trois aspects suivants :

1. La situation actuelle du bassin, en termes d'état, de pressions et d'impacts,
2. L'évolution du bassin par rapport à la situation précédente, à l'échelle du bassin,
3. Les enjeux concernant la préparation du prochain cycle, lesquels sont traités au travers de l'évaluation du risque de non-atteinte des objectifs environnementaux (RNAOE) 2021. » (paragraphe II.3)

Compte tenu des éléments de connaissance disponibles, il s'agit dans ce document essentiellement de permettre de faire le point de la situation actuelle en termes de pressions, réinterprétées au travers des éléments de qualité hydromorphologique (DCE, annexe V paragraphe 1.1.1).

4.2. Principes

4.2.1. Nature de l'information disponible

Les questionnaires disposent des éléments suivants :

- un réseau hydrographique constitué par les masses d'eau, support élémentaire de gestion au niveau du bassin (référentiel BD CARTHAGE) ;
- un réseau hydrographique constitué par les USRA, (sous ensemble des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes), construit sur la base du thème hydrographie linéaire de la BD TOPO IGN® ;
- des valeurs de probabilités pour chaque classe d'altération de chacun des dix paramètres élémentaires des éléments de qualité DCE à l'échelle des masses d'eau et à l'échelle des USRA, niveau élémentaire de calcul. La distribution de ces probabilités reflète en outre le niveau de confiance accordé à l'estimation du risque d'altération de ces paramètres élémentaires.

Ces informations pourront être traduites sous forme de cartes ou de tableaux de valeurs selon les applications envisagées.

4.3. Avertissement

Les probabilités de degré d'altération restent des probabilités, c'est à dire qu'elles peuvent ne pas se traduire par un impact hydromorphologique observé : ainsi une probabilité d'altération forte de 0.7 ne devrait se concrétiser par une altération forte observable que dans 7 cas sur 10 en moyenne (selon les experts) ; il reste donc,

toujours en moyenne, 3 cas sur 10 où cette classe d'altération (forte) ne devrait pas être observée.

4.3.1. Importance de l'expertise locale et collective

Il faut donc se garder d'une application aveugle de valeurs résultant d'agrégation synthétique sans vérification, même globale, par des experts ayant une connaissance locale, bien que parfois plus intuitive, des risques d'altération de la ou des masses d'eau faisant l'objet de l'analyse.

Les résultats produits sont issus d'un processus complexe allant de l'extraction de données géographiques au calcul de probabilités d'altération hydromorphologique, en manipulant des échelles différentes et des données d'origine qui ont des niveaux hétérogènes de précision.

4.3.2. Ne pas confondre résultats non satisfaisants et résultats erronés

Il est inévitable que dans certains cas particuliers, par ailleurs bien connus d'opérateurs locaux compétents, l'appréciation du degré d'altération hydromorphologique diffère de l'expertise formulée localement.

Cela ne signifie pas que le modèle soit « faux », c'est au contraire à partir de ce type de situation, que l'on peut progresser. La recherche du pourquoi nourrira l'amélioration future du modèle lui-même (le (les) processus incriminé(s), leur intensité mal étalonnée au départ, leur spatialisation ou un autre processus en cause). Le diagnostic ne peut également qu'en sortir consolidé en mettant en exergue des problèmes non pris en compte pouvant résulter de particularités géographiques locales et en balayant à nouveau l'ensemble des facteurs de faiblesse de la chaîne de causalité.

Une méthode simple d'analyse est, dans ce cas, à mettre en œuvre dont les étapes principales sont (dans l'ordre) :

- la **nature de l'information** correspond-elle à ce que l'expert apprécie ? S'agit-il de la même question traitée ? (par exemple la qualité de l'habitat d'une ou plusieurs espèces aquatiques ne correspond pas systématiquement à l'altération du substrat et de la structure du lit) ;
- l'**échelle de l'objet apprécié** est-elle bien comparable ? (masse d'eau prise dans son ensemble par rapport à quelques sites bien connus, mais très localisés) ;
- les **données « brutes »** utilisées pour l'évaluation de la probabilité d'altération sont-elles discordantes par rapport à l'observation « terrain » ? L'évaluation des contraintes anthropiques est-elle correcte ? La donnée source a-t-elle subi une forte évolution ?
- une **autre pression**, absente du modèle de construction des probabilités d'altération, induit une réponse forte d'altération de fonctionnement du cours d'eau (modèle imprécis ou cas particuliers non prévus) ?
- des **mesures de corrections** d'une ou plusieurs pressions se sont-elles montrées efficaces, en corrigeant l'altération attendue (situation idéale à prendre en compte par l'expertise locale) ? Le modèle de combinaison est-

il inadapté (à vérifier s'il s'agit d'une particularité liée à des contraintes géographiques spécifiques ou s'il s'agit d'un problème générique) ?

Il convient, à ce stade de la réflexion, de se rappeler que la construction de l'échelle d'appréciation du degré d'altération a été réalisée à un niveau national, susceptible de tenir compte de la majorité des situations, et qu'inévitablement, des exceptions locales contredisant ce modèle ne manqueront pas d'exister.

4.3.3. Le modèle ne peut être une vérité absolue

A l'inverse, utiliser les résultats sans procéder à une analyse critique à partir d'autres informations connues, risque de mener le processus d'évaluation du risque dans une impasse, condamnant à court terme sa viabilité.

En effet, il faut rappeler que l'ensemble des contraintes (pressions et forces motrices) décrites et retenues dans SYRAH-CE n'est pas exhaustif, autant pour des raisons de difficulté de relier la pression à l'altération du fonctionnement que pour des raisons de disponibilité de la donnée à l'échelle nationale.

Les modèles de combinaison conduisant à des probabilités d'appartenir à une classe d'altération ont été construits par expertise en suivant les grands principes tendanciels présentés dans la section précédente, paramètre par paramètre. Tant les modèles que les tables de probabilités sont probablement perfectibles, mais reflètent l'état de connaissance et de compréhension actuel du système.

La mise à disposition aux acteurs réalisant l'exercice « Etat Des Lieux », des données d'« origine » (pressions, forces motrices), ainsi que des résultats à des échelles différentes laisse la possibilité d'envisager un regard critique proportionné aux enjeux de l'exercice lui-même.

5. Application : exemple du bassin versant de l'Azergues

Il est proposé, à partir d'un exemple pratique sur un bassin versant, d'examiner les possibilités de valorisation des informations disponibles auprès des gestionnaires.

Méthodologie : Analyse construite à partir des paramètres d'altération, structurés en éléments de qualité DCE (régime hydrologique, continuité de la rivière, conditions morphologiques).

5.1. Présentation du bassin versant

D'une surface de 890 km² environ, ce bassin versant est drainé par trois rivières principales : l'Azergues (affluent de rive droite de la Saône), la Brévenne et la Turdine.

Ce bassin versant est situé sur les contreforts est du Massif Central (HER 3 Massif Central Sud) pour se terminer dans un élargissement local de la plaine alluviale de Saône à l'aval.

Caractérisé par un passé industriel utilisant l'énergie hydraulique au XIX^{ème} siècle, ce bassin versant à dominante rurale et forestière, est soumis aux pressions de l'extension de l'agglomération lyonnaise à l'aval, et de quelques agglomérations situées sur les émissaires principaux (fig. 7).

Le réseau hydrographique est découpé en 24 masses d'eau de différentes tailles, la sectorisation géomorphologique, quant à elle, a permis de déterminer 119 tronçons géomorphologiquement homogènes, eux-mêmes découpés en 201 USRA.

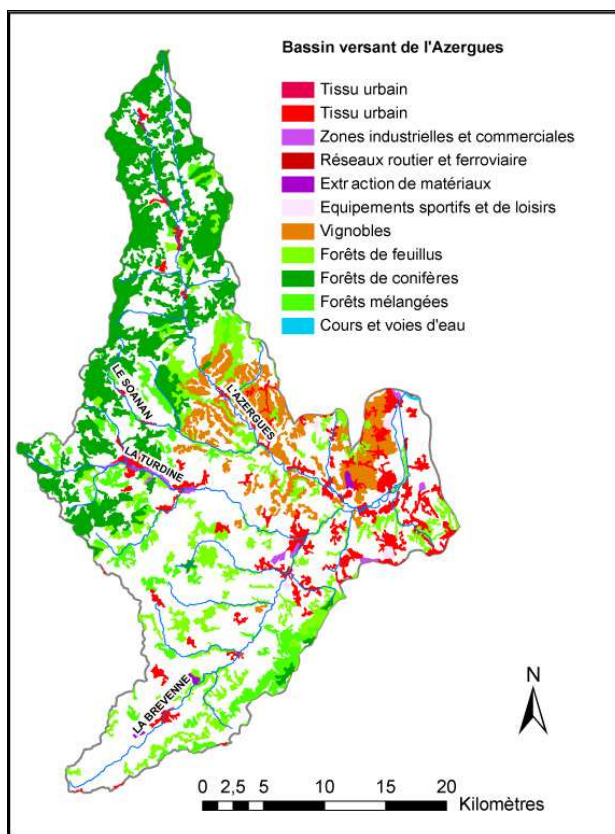


Fig. 7 Bassin versant de l'Azergues – occupation du sol

5.2. Régime hydrologique

5.2.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau

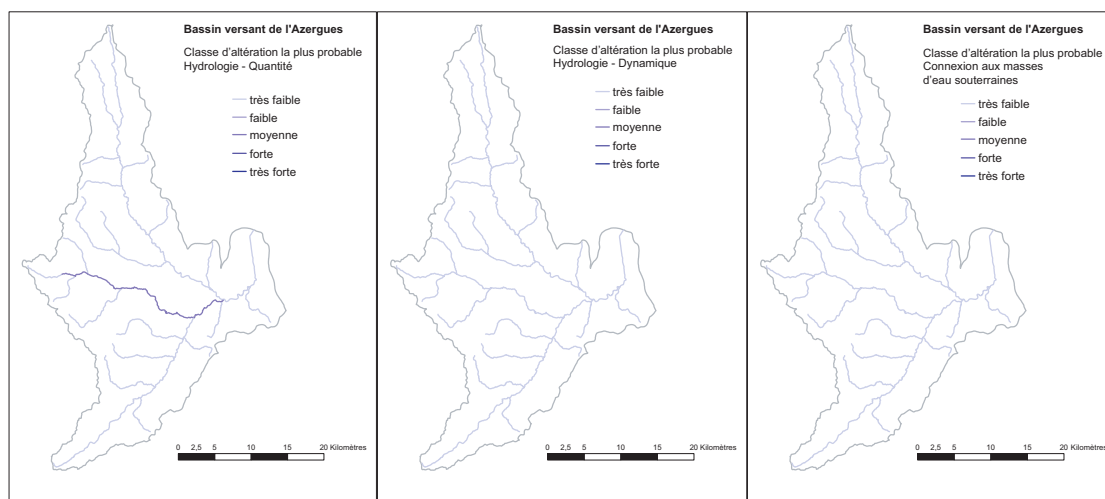


Fig. 8 Bassin Azergues – Régime hydrologique – Classe d'altération la plus probable appliquée aux masses d'eau

Il apparaît que le bassin versant n'est pas concerné par ce risque, sauf localement sur une masse d'eau (la Turdine) avec la classe « moyen » pour l'altération du régime hydrologique sur le plan quantitatif.

Un examen plus approfondi de la répartition des probabilités au niveau de cette masse d'eau donne le résultat suivant :

Classe d'altération	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Probabilité	0.17	0.20	0.26	0.24	0.12

Le niveau de confiance que l'on peut attribuer à la probabilité la plus élevée est limité : il y a à peu près autant de chances que le degré d'altération soit faible, moyen ou fort. Il est donc utile de changer d'échelle afin de préciser l'information obtenue.

5.2.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA

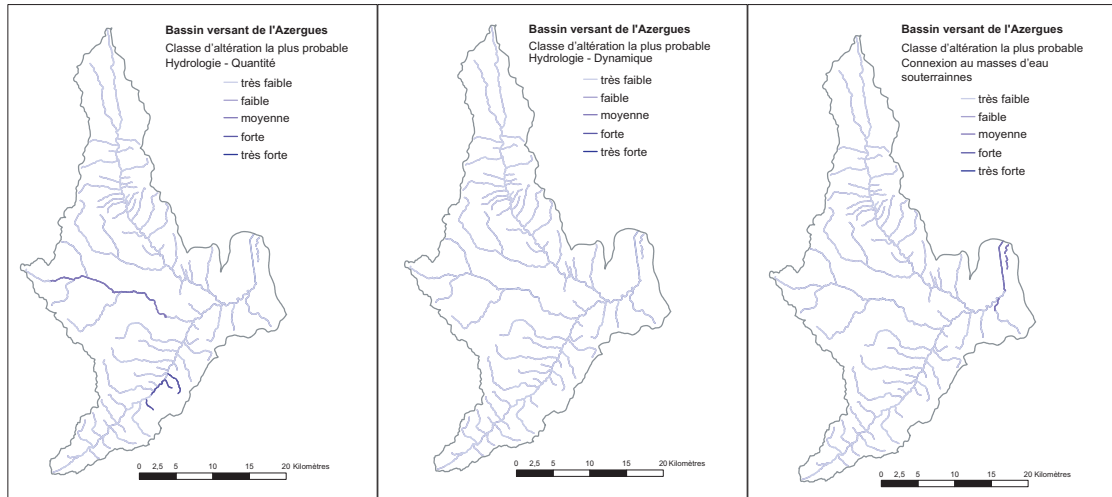


Fig. 9 Bassin Azergues – Régime hydrologique – Classe d'altération la plus probable appliquée aux USRA

La masse d'eau à laquelle est associée la classe « moyenne » d'altération du régime hydrologique sur le plan quantitatif (avec un niveau de confiance faible) est constituée de 3 USRA. Elle est affectée (plus forte probabilité) dans sa partie amont aux classes d'altération « moyenne » à « forte » et sur sa moitié aval à la classe « très faible ». La répartition des probabilités d'altération s'organisant ainsi :

Classe d'altération	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Amont ME	0.08	0.17	0.29	0.29	0.15
Intermédiaire	0.34	0.24	0.19	0.14	0.06
Aval ME	0.37	0.25	0.18	0.13	0.06

En appliquant cette vérification sur l'ensemble des masses d'eau du bassin versant de l'Azergues, on note que :

- une USRA localisée (Brévenne) présente un risque important d'une d'altération « très forte » pour une masse d'eau qualifiée initialement en « très faible », toutefois la longueur relative de l'USRA ne concerne que 3.4 km/33.3 km, soit 10% de la longueur ;
- quelques USRA hors du réseau des masses d'eau sont également concernées localement par la classe d'altération « forte » pour le paramètre hydrologie - quantité ;
- une USRA (aval du bassin versant) est associée à la classe d'altération « moyenne » (avec un niveau de confiance faible cependant) pour la connexion avec les masses d'eau souterraines, et représente 50% de la longueur de la masse d'eau pour laquelle n'est identifiée qu'une altération probable « très faible ». Toutefois, ce cas particulier, concerne l'unique USRA du bassin versant située sur des alluvions récentes.

5.2.3. Pour aller plus loin : les données « brutes » de pression

Il est intéressant de connaître la nature des pressions à l'origine des risques identifiés ci-dessus.

Pour le premier cas, un balayage rapide des données de pressions à l'échelle des USRA permet de repérer un plan d'eau connecté à l'amont de la masse d'eau affectée, confirmé par la présence d'un barrage (retenue de Joux à Tarare, hauteur 23.5 m, 1,1 M m³).

La masse d'eau, dont la partie aval est susceptible de connaître des altérations de connexion aux masses d'eau souterraines, est affectée par un taux de rectitude important et la présence de plans d'eau déconnectés, laissant présumer une chenalisation, voire des extractions de matériaux anciennes.

Les cas, plus localisés et non identifiables au niveau masse d'eau, de risque d'altération forte du régime hydrologique quantitatif correspondent à la présence de pompages et/ou captages à proximité.

5.2.4. Régime hydrologique : les risques au niveau du bassin.

Dans le cadre d'une analyse de risque à l'échelle des masses d'eau (objectif de l'état des lieux), on peut dans cet exemple retenir :

- le degré d'altération fort du régime quantitatif, induit par la présence d'un barrage, dont la gestion peut affecter sensiblement le fonctionnement hydrologique de la masse d'eau concernée, reste essentiellement limité à celle-ci.

Une approche plus fine (contrat de rivière, SAGE), peut être complétée par les deux autres éléments de risques identifiés (selon les enjeux) :

- « risque de dégradation moyennement importante de la connexion aux masses d'eau souterraine en aval du bassin (basse Azergues),
- présences de captages / pompages susceptibles d'affecter localement certains cours d'eau, le besoin d'une connaissance plus précise des débits pompés par rapport aux débits écoulés apparaît nécessaire pour valider l'importance du risque. »

Une réflexion sur la connaissance actuelle des impacts, les mesures de suivi, voire les restaurations serait à entreprendre.

Il convient de rester prudent sur les conclusions définitives à apporter à cette approche. En effet, dans le cas général, en l'absence de données disponibles sur les dérivations et tronçons court-circuités, ainsi que sur les ouvrages susceptibles de générer des éclusées (en réalité absent de ce bassin), le bilan reste partiel en ce qui concerne les altérations du débit liquide.

Par ailleurs, pour les masses d'eau concernées par des classes d'altération « faible » à « très faible », l'analyse de détail du niveau de confiance n'a pas été effectuée.

La confrontation avec les connaissances acquises localement : jaugeage, évaluation de l'état écologique, avis d'expert locaux permettrait de consolider ce premier bilan.

5.3. Continuité biologique

Les éléments apportés par la méthodologie SYRAH-CE pour cet élément sont relativement limités (fig. 10), par rapport aux connaissances de terrain, aux données acquises dans d'autres cadres (ROA, ICE) et aux modèles développés et en cours de développement.

5.3.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau

Néanmoins, il reste possible d'examiner les résultats obtenus à l'échelle des masses d'eau sur le bassin versant de l'Azergues.

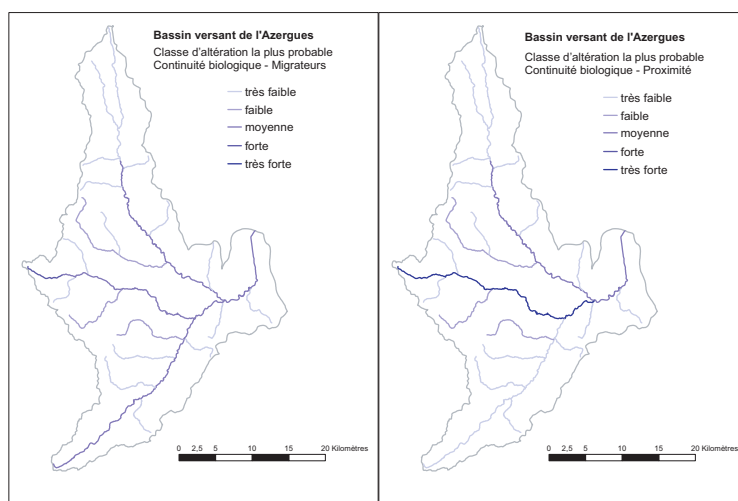


Fig. 10 Bassin Azergues – Continuité biologique – Classe d'altération la plus probable appliquée aux masses d'eau

On constate que la continuité biologique « migrateurs » présente des valeurs importantes de classes d'altération fortes à très fortes sur les axes principaux du bassin versant.

Ce paramètre repose sur deux types de données de pression :

- la présence de barrage de plus de 15 m à l'aval (ce qui n'est pas le cas pour ce bassin versant) ;
- la densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente du cours d'eau qui, dans ce cas, est la variable à l'origine de ces valeurs de classes.

En ce qui concerne la continuité biologique de proximité, la carte des classes d'altération les plus probables appliquées aux masses d'eau distingue une altération potentielle très forte pour la masse d'eau Turdine, pour laquelle la présence d'un barrage était à l'origine d'un risque d'altération du régime hydrologique.

5.4. Continuité du transport solide et continuité latérale

5.4.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau

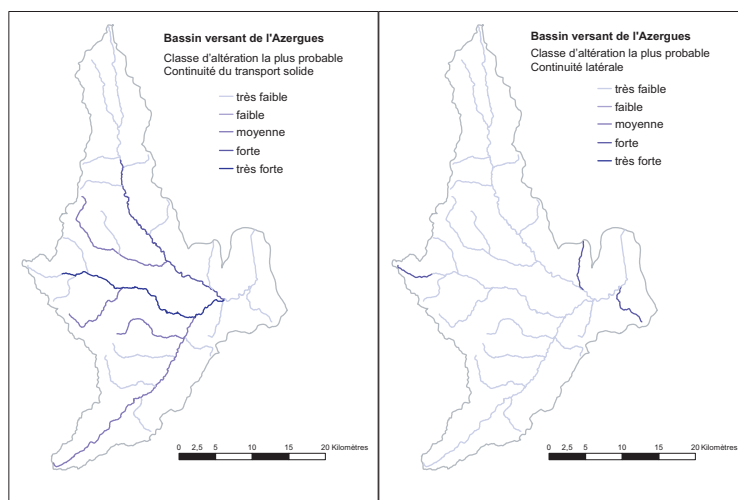


Fig. 11 Bassin Azergues – Continuité physique – Classe d'altération la plus probable appliquée aux masses d'eau

On constate deux natures de résultats très différents (fig. 11):

- les axes et affluents principaux du bassin versant sont les plus concernés par une altération potentielle importante de la continuité sédimentaire, avec comme classes les plus probables les catégories « très fort » à « moyenne »;
- le risque d'une altération forte de la continuité latérale ne concerne que trois petites masses d'eau.

Il est intéressant d'approfondir la connaissance de la répartition des probabilités pour chacune de ces altérations.

Ce qui donne pour la continuité sédimentaire (Tabl. 6) :

Tableau 6 : Valeurs de probabilité par classe d'altération de la continuité du transport solide (caractère rouge : classe la plus probable si $p_{max} > 0.6$, caractère bleu : deux classes plus probables si $p < 0.6$)

Code ME	Très Faible	Faible	Moyenne	Fort	Très Fort	Classe la plus probable	Niveau de confiance
FRDR569a	0,02	0,04	0,12	0,28	0,54	très forte	3
FRDR568a	0,05	0,13	0,35	0,37	0,10	forte	3
FRDR10407	0,22	0,18	0,45	0,15	0,00	moyenne	2
FRDR10778	0,18	0,18	0,48	0,16	0,00	moyenne	3
FRDR569b	0,20	0,10	0,32	0,26	0,11	moyenne	3
FRDR571	0,17	0,18	0,49	0,16	0,00	moyenne	3
FRDR10111	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR10488	0,66	0,13	0,16	0,05	0,00	très faible	3
FRDR10511	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR10728	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR10734	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR10785	0,64	0,13	0,17	0,06	0,00	très faible	3
FRDR10818	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR10846	0,77	0,11	0,09	0,03	0,00	très faible	3
FRDR11060	0,70	0,10	0,10	0,09	0,01	très faible	3
FRDR11109	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR11355	0,30	0,10	0,30	0,26	0,03	très faible	2
FRDR11385	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR11437	0,90	0,10	0,00	0,00	0,00	très faible	3
FRDR11636	0,30	0,10	0,30	0,26	0,03	très faible	2
FRDR11801	0,48	0,15	0,28	0,09	0,00	très faible	2
FRDR568b	0,38	0,38	0,20	0,05	0,00	très faible	3
FRDR570	0,53	0,06	0,00	0,00	0,41	très faible	0
FRDR572	0,50	0,07	0,16	0,24	0,04	très faible	0

Le nombre de masses d'eau affectées par un risque non négligeable d'une altération moyenne à très forte reste limité (6/24), mais il s'agit des axes et affluents principaux.

Les masses d'eau pour lesquelles la certitude est limitée, (niveau de confiance < 3, cf. Annexe 2, CR GTHM 08/06/2012) concernent 6 masses d'eau : quatre affluents en dehors des axes principaux identifiés sur la carte, ainsi que l'amont de l'Azergues et la Turdine, pour lesquelles le recours à une évaluation par un expert peut s'avérer utile.

Pour la continuité latérale (Tabl. 7) :

Tableau 7 : Valeurs de probabilité par classe d'altération de la continuité latérale (caractère rouge : classe la plus probable si $p_{max} > 0.6$, caractère bleu : deux classes plus probables si $p < 0.6$)

Code_ME	Très Faible	Faible	Moyenne	Fort	Très Fort	Classe la plus probable	Niveau de confiance
FRDR570	0,00	0,19	0,29	0,43	0,07	forte	3
FRDR11385	0,24	0,21	0,21	0,27	0,03	forte	0
FRDR10785	0,26	0,22	0,21	0,26	0,03	forte	0
FRDR11060	0,28	0,21	0,20	0,26	0,03	très faible	0
FRDR11355	0,28	0,21	0,20	0,26	0,03	très faible	0
FRDR568a	0,42	0,19	0,15	0,19	0,03	très faible	3
FRDR569a	0,43	0,21	0,15	0,18	0,02	très faible	3
FRDR568b	0,46	0,19	0,14	0,18	0,02	très faible	3
FRDR10734	0,46	0,20	0,14	0,16	0,02	très faible	3
FRDR11636	0,47	0,22	0,14	0,15	0,01	très faible	3
FRDR572	0,48	0,19	0,13	0,16	0,02	très faible	3
FRDR569b	0,50	0,20	0,13	0,14	0,01	très faible	3
FRDR571	0,51	0,19	0,12	0,15	0,01	très faible	3
FRDR10778	0,53	0,22	0,12	0,11	0,00	très faible	3
FRDR10111	0,55	0,21	0,11	0,11	0,01	très faible	3
FRDR10728	0,55	0,22	0,11	0,10	0,00	très faible	3
FRDR10846	0,57	0,20	0,10	0,11	0,01	très faible	3
FRDR11437	0,58	0,19	0,10	0,11	0,01	très faible	3
FRDR11109	0,58	0,20	0,10	0,11	0,01	très faible	3
FRDR10488	0,62	0,20	0,09	0,09	0,00	très faible	3
FRDR10407	0,63	0,20	0,08	0,08	0,00	très faible	3
FRDR11801	0,63	0,19	0,08	0,08	0,00	très faible	3
FRDR10511	0,64	0,19	0,08	0,08	0,00	très faible	3
FRDR10818	0,70	0,18	0,06	0,05	0,00	très faible	3

Le nombre de masses d'eau présentant un risque d'être fortement altérée est peu important (3/24) : amont de la Turdine et deux affluents de l'Azergues.

Le niveau de confiance est limité pour ces deux derniers (distribution étalée des probabilités), ainsi que deux autres petites masses d'eau à risque d'altération très faible.

L'examen des probabilités à une échelle plus fine (USRA), permettrait d'améliorer l'analyse.

Pour la continuité physique (fig. 12) :

5.4.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA

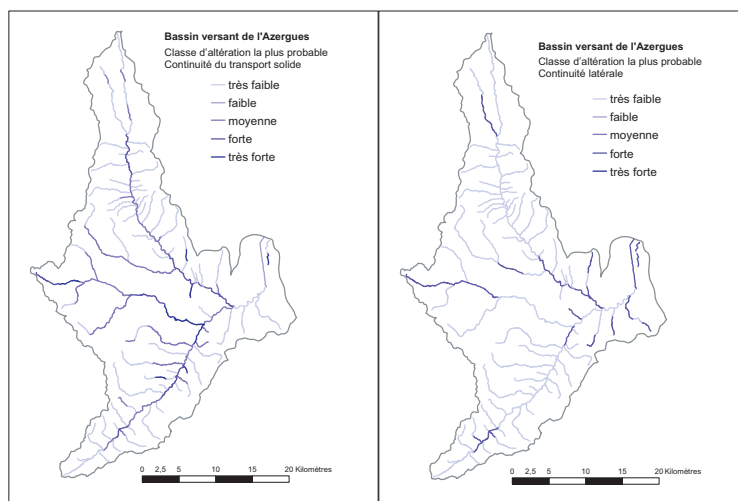


Fig. 12 Bassin Azergues – Continuité physique – Classe d'altération la plus probable appliquée aux USRA

On retrouve les mêmes tendances dominantes pour les deux types d'altération de continuité physique.

L'information spatiale plus précise à cette échelle, permet d'identifier des altérations plus localisées qui ne sont pas visibles à l'échelle des masses d'eau entières ; c'est un effet lissage de l'agrégation. Certaines USRA hors population des masses d'eau DCE sont également concernées pour ces paramètres.

5.4.3. Pour aller plus loin : les données « brutes » de pression

Une mise en perspective des pressions pour la continuité sédimentaire (Fig. 13) permet d'identifier que la densité de seuils pondérée par la pente du cours est la pression déterminante dans le cas de la continuité du débit solide.

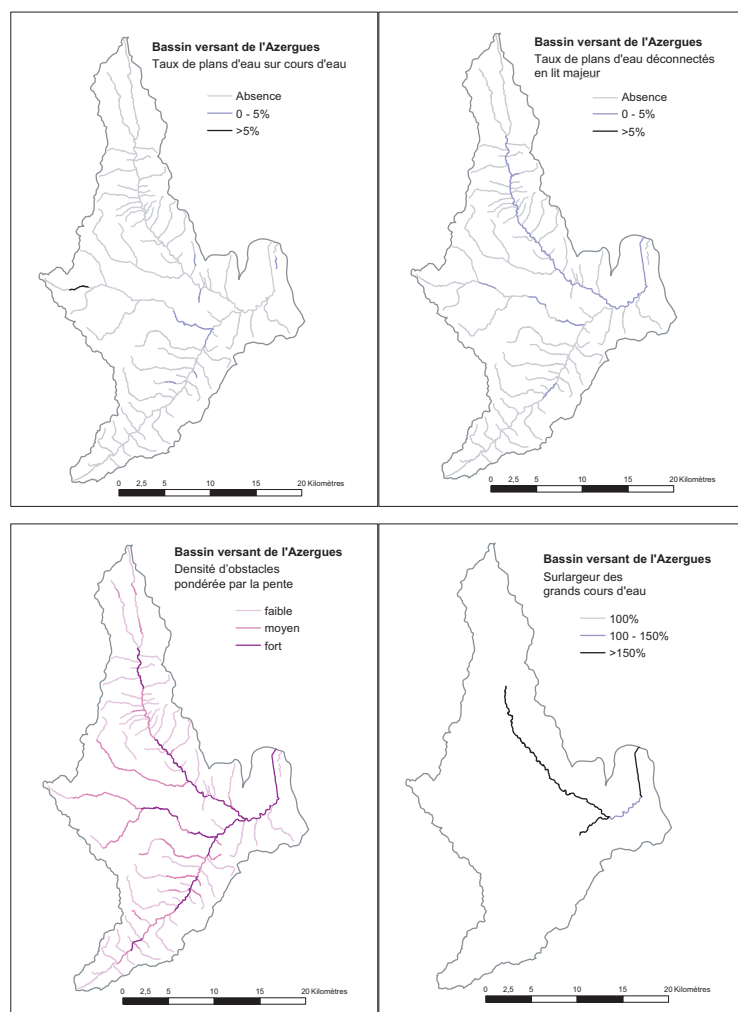


Fig. 13 Bassin Azergues – Continuité physique – Données de pressions brutes à l'échelle USRA

En revanche, pour la continuité latérale, la combinaison de données brutes de pression apparaît trop complexe (valeurs moyennes) pour apporter une lecture simple de l'origine du risque d'altération.

5.4.4. Continuité physique (transport sédimentaire et continuité latérale) : les risques au niveau du bassin

Dans le cadre d'une analyse de risque à l'échelle des masses d'eau pour l'état des lieux DCE, on peut retenir :

- un risque d'une altération importante de la continuité du transport sédimentaire très présent sur les principaux axes du bassin versant ;
- un risque d'une altération forte de la continuité latérale localisé à quelques petites masses d'eau ou à quelques USRA à une échelle inférieure aux grandes masses d'eau.

Les altérations relatives à la continuité du transport solide prennent leur origine essentiellement au niveau de la densité d'obstacles assez forte sur les émissaires principaux à pente moyenne à faible, et dans les traces d'extractions passées de granulats sur l'axe principal (Azergues), exprimées par la surlargeur et la présence de plans d'eau déconnectés en lit majeur (gravières), marquant durablement l'altération de fonctionnement physique du cours d'eau.

5.5. Conditions morphologiques

5.5.1. Probabilités d'altération à l'échelle des masses d'eau

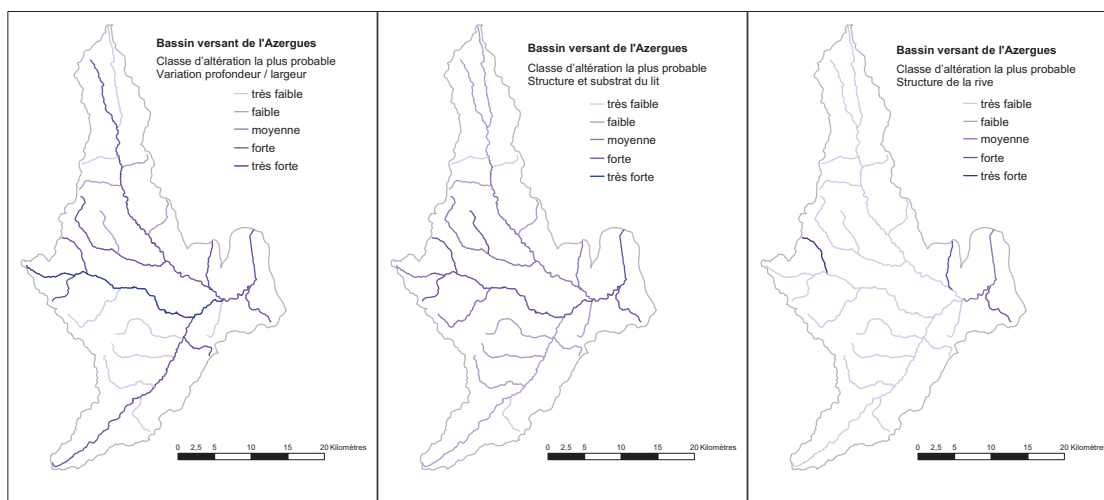


Fig. 14 Bassin Azergues – Conditions morphologiques – Classe d'altération la plus probable appliquée aux masses d'eau

Si pour la structure de la rive, peu de masses d'eau semblent affectées, pour la variation de la profondeur et de la largeur, ainsi que la structure et le substrat du lit, nous retrouvons une répartition analogue à celle de la continuité du transport solide. Les masses d'eau sont majoritairement concernées par une classe d'altération la plus probable respectivement de « très forte » à « forte », et « forte » à « moyenne » pour les émissaires principaux du bassin (fig. 14).

Tableau 8 : Valeurs de probabilité par classe d'altération de la variation de la profondeur et de la largeur
(caractère rouge : classe la plus probable si $p \max > 0.6$, caractère bleu : deux classes plus probables si $p < 0.6$)

Code_ME	Très Faible	Faible	Moyenne	Forte	Très Forte	Classe la plus probable	Niveau de confiance
FRDR10818	0,55	0,28	0,12	0,03	0,00	très faible	3
FRDR11801	0,50	0,28	0,15	0,05	0,01	très faible	3
FRDR10488	0,41	0,30	0,19	0,07	0,01	très faible	3
FRDR10407	0,41	0,24	0,12	0,13	0,08	très faible	3
FRDR10728	0,33	0,24	0,14	0,17	0,10	très faible	3
FRDR11437	0,27	0,21	0,16	0,19	0,15	très faible	3
FRDR10778	0,29	0,22	0,13	0,21	0,13	très faible	3
FRDR10734	0,25	0,18	0,11	0,24	0,21	très faible	0
FRDR11109	0,27	0,32	0,25	0,11	0,03	faible	2
FRDR10846	0,20	0,31	0,27	0,14	0,05	faible	2
FRDR11060	0,12	0,32	0,32	0,16	0,05	faible	3
FRDR10511	0,23	0,24	0,18	0,22	0,11	faible	3
FRDR11636	0,19	0,22	0,18	0,24	0,15	forte	1
FRDR569b	0,24	0,18	0,11	0,26	0,20	forte	0
FRDR571	0,14	0,20	0,17	0,27	0,20	forte	3
FRDR572	0,15	0,17	0,13	0,30	0,23	forte	3
FRDR10785	0,13	0,12	0,09	0,33	0,32	forte	3
FRDR11355	0,04	0,13	0,13	0,35	0,32	forte	3
FRDR10111	0,03	0,12	0,12	0,41	0,30	forte	3
FRDR11385	0,00	0,03	0,04	0,46	0,44	forte	3
FRDR568a	0,05	0,04	0,02	0,51	0,38	forte	3
FRDR568b	0,00	0,03	0,02	0,52	0,44	forte	3
FRDR569a	0,12	0,07	0,04	0,33	0,43	très forte	3
FRDR570	0,00	0,04	0,05	0,41	0,49	très forte	3

Pour le risque d'altération de la **profondeur et de la largeur**, le Tableau 8 confirme, l'existence de deux ensembles de masses d'eau, avec une distribution de probabilités permettant un niveau de confiance assez correct pour les 4/5 des masses d'eau.

Tableau 9 : Valeurs de probabilité par classe d'altération de la structure et substrat du lit (caractère rouge : classe la plus probable si $p_{\max} > 0.6$, caractère bleu : deux classes plus probables si $p < 0.6$)

Code_ME	Très Faible	Faible	Moyenne	Fort	Très Forte	Classe la plus probable	Niveau de confiance
FRDR10818	0,36	0,28	0,18	0,12	0,03	très faible	3
FRDR11437	0,31	0,27	0,20	0,16	0,04	très faible	3
FRDR10511	0,31	0,28	0,20	0,15	0,04	très faible	3
FRDR11801	0,26	0,28	0,22	0,16	0,05	faible	3
FRDR10488	0,25	0,28	0,22	0,17	0,05	faible	3
FRDR10734	0,23	0,26	0,24	0,18	0,06	faible	3
FRDR10728	0,23	0,27	0,24	0,17	0,06	faible	3
FRDR11109	0,21	0,27	0,25	0,20	0,05	faible	3
FRDR10407	0,21	0,28	0,24	0,18	0,07	faible	3
FRDR10111	0,20	0,27	0,26	0,20	0,06	faible	3
FRDR10846	0,20	0,27	0,26	0,20	0,05	faible	3
FRDR572	0,19	0,27	0,26	0,20	0,06	faible	3
FRDR569b	0,18	0,24	0,23	0,22	0,11	faible	3
FRDR570	0,14	0,22	0,26	0,25	0,11	moyenne	3
FRDR571	0,13	0,24	0,26	0,24	0,10	moyenne	3
FRDR10778	0,13	0,25	0,27	0,23	0,10	moyenne	3
FRDR10785	0,10	0,21	0,28	0,27	0,11	moyenne	3
FRDR568a	0,09	0,25	0,26	0,25	0,13	moyenne	3
FRDR11636	0,09	0,21	0,26	0,26	0,14	forte	3
FRDR11060	0,08	0,19	0,27	0,29	0,14	forte	3
FRDR11355	0,05	0,17	0,26	0,31	0,19	forte	3
FRDR569a	0,03	0,15	0,24	0,33	0,23	forte	3
FRDR11385	0,02	0,13	0,27	0,35	0,21	forte	3
FRDR568b	0,02	0,09	0,18	0,36	0,35	forte	3

Pour le paramètre **structure et du substrat du lit**, les masses d'eau sont moins clairement organisées en sous-ensembles. De plus, un examen attentif de la distribution du risque montre, pour toutes les masses d'eau, un étalement des probabilités sur deux ou trois classes d'altération (Tabl. 9), ce qui confirme la nécessité d'expertises complémentaires sur l'ensemble de ce bassin versant afin de statuer sur l'importance de cette altération.

Pour le paramètre **structure de la rive** (Tabl. 10), la distribution des probabilités présente également cette caractéristique (étalement sur deux ou trois classes), mais d'une manière moins marquée (troisième valeur < 0.20).

Tableau 10 : Valeurs de probabilité par classe d'altération de la structure de rive (caractère rouge : classe la plus probable si $p_{max} > 0.6$, caractère bleu : deux classes plus probables si $p < 0.6$)

Code_ME	Très Faible	Faible	Moyenne	Forte	Très Forte	Classe la plus probable	Niveau de confiance
FRDR11801	0,69	0,21	0,07	0,01	0,00	très faible	3
FRDR11109	0,67	0,22	0,08	0,01	0,00	très faible	3
FRDR10818	0,64	0,24	0,08	0,02	0,00	très faible	3
FRDR11060	0,64	0,24	0,08	0,02	0,00	très faible	3
FRDR10846	0,63	0,23	0,09	0,02	0,01	très faible	3
FRDR570	0,48	0,28	0,14	0,06	0,02	très faible	3
FRDR11636	0,48	0,16	0,13	0,11	0,08	très faible	3
FRDR10728	0,44	0,25	0,16	0,07	0,05	très faible	3
FRDR10407	0,44	0,21	0,16	0,10	0,06	très faible	3
FRDR10488	0,43	0,30	0,18	0,06	0,02	très faible	3
FRDR10778	0,43	0,19	0,15	0,12	0,09	très faible	3
FRDR10734	0,42	0,18	0,17	0,12	0,09	très faible	3
FRDR11437	0,40	0,33	0,18	0,06	0,02	très faible	3
FRDR10511	0,39	0,26	0,18	0,09	0,07	très faible	3
FRDR569b	0,38	0,19	0,19	0,13	0,10	très faible	3
FRDR568a	0,34	0,16	0,21	0,12	0,13	très faible	2
FRDR571	0,33	0,19	0,19	0,15	0,11	très faible	3
FRDR572	0,32	0,20	0,19	0,15	0,12	très faible	3
FRDR10111	0,26	0,14	0,22	0,19	0,17	très faible	2
FRDR569a	0,23	0,15	0,23	0,19	0,17	très faible	2
FRDR568b	0,11	0,13	0,30	0,22	0,23	moyenne	2
FRDR10785	0,16	0,17	0,23	0,24	0,18	forte	3
FRDR11385	0,17	0,14	0,22	0,23	0,22	forte	3
FRDR11355	0,20	0,13	0,17	0,23	0,24	très forte	3

5.5.2. Probabilités d'altération à l'échelle des USRA

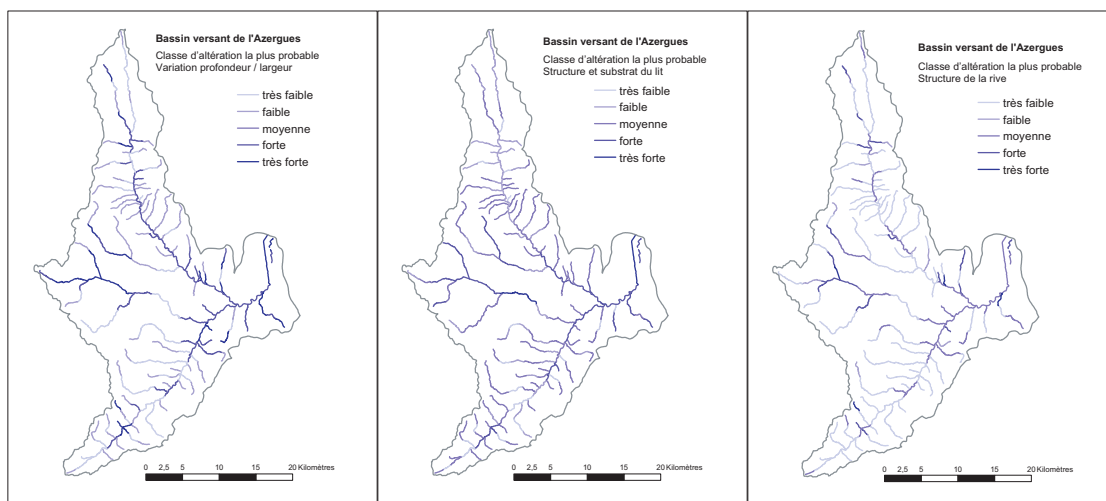


Fig. 15 Bassin Azergues – Conditions morphologiques – Classe d'altération la plus probable appliquée aux USRA

L'examen des cartes des classes d'altération les plus probables par USRA montre :

- une confirmation de la structuration spatiale forte du risque observée au niveau « masse d'eau » pour le paramètre élémentaire « profondeur – largeur » ;
- une dominance des classes d'altération faible à moyenne pour la structure et le substrat du lit ;
- une dispersion d'USRA concernées par des altérations fortes pour la structure de la rive, que l'agrégation à la masse d'eau a masquées.

Pour les masses d'eau, à l'échelle de ce bassin versant et pour l'élément de qualité conditions morphologiques, on constate une assez bonne cohérence spatiale avec les risques évalués sur les autres éléments de qualité.

En revanche, il apparaît que les classes d'altération les plus probables identifiées sont assez souvent entachées d'un niveau de confiance assez limité, ce qui nécessite un regard et une validation plus poussée de ces résultats par les experts locaux, afin de déterminer l'importance du degré d'altération « réel » à prendre en compte, notamment pour évaluer le risque de non atteinte des objectifs environnementaux.

5.6. Approche d'une classification des masses d'eau du bassin versant

L'analyse précédente propose une approche assez complète à l'échelle d'un bassin versant, mais les impératifs de gestion, dans des délais et avec des moyens contraints, ne permettent parfois pas de prendre ce temps nécessaire à ce type de valorisation des informations disponibles.

On peut néanmoins proposer pour ce bassin versant, un processus d'analyse plus sommaire.

La réflexion collective du groupe de travail national hydromorphologie, animé par le Ministère en charge de l'écologie, a permis de construire un cadre méthodologique

d'agrégation des résultats obtenus pour les 10 paramètres élémentaires (cf. Annexe 2, CR GTHM 08/06/2012).

5.6.1. Masses d'eau et classe d'altération le plus probable

L'agrégation des classes d'altération retenues pour chaque paramètre élémentaire prend en compte la qualité de l'information issue des données de pressions utilisées, par affectation de coefficients de pondération (modifiables en fonction de l'utilisation de données locales complémentaires plus précises).

L'application de ce processus aboutit à un premier niveau de résultat en trois grandes classes de pressions / altérations (faible, moyenne et forte) par élément de qualité (hydrologie, continuité, morphologie).

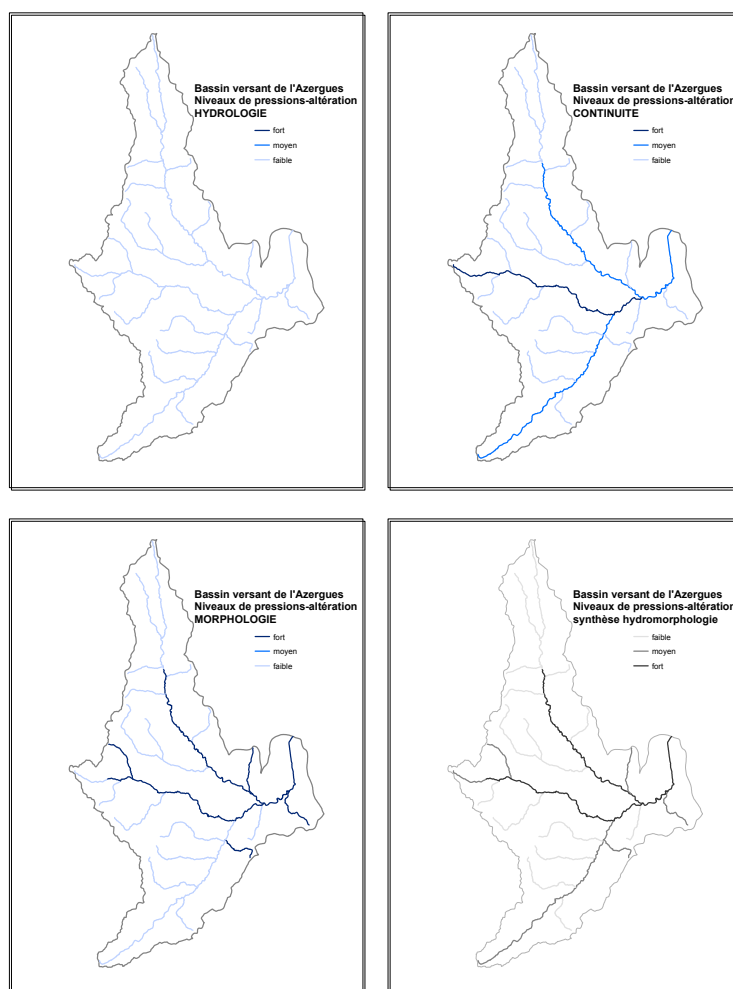


Fig. 16 Bassin Azergues – Classe de pressions / altérations par élément de qualité appliqué aux masses d'eau et synthèse générale

Il apparaît que si la majorité (en nombre) des masses d'eau (16/24) appartiennent à la catégorie de risque global d'altération et de pression faible à très faible, les masses d'eau concernées par un risque d'altération et de pression plus élevé correspondent aux



axes principaux du bassin versant, ainsi que les affluents, en aval du bassin, plus sollicités par les influences péri urbaines de l'agglomération lyonnaise (fig. 16).

On note également que les paramètres d'altération déclassant relèvent des groupes « continuité physique » et « morphologie ».

6. Conclusion

L'exemple traité permet de montrer les potentialités de l'information disponible aux deux échelles (USRA et masses d'eau), et sous plusieurs formes : distribution de probabilités par classe d'altération pour les paramètres élémentaires, données de pression.

Le cas traité montre qu'une apparente complexité de la donnée élémentaire (nombreuses informations de pression, concernant des thématiques différentes) permet malgré tout une traduction synthétique en risques d'altérations.

De plus, l'examen attentif des distributions de probabilité à différentes échelles permet de relativiser la nature de l'information obtenue, et d'identifier, voire de hiérarchiser les besoins d'expertises complémentaires nécessaires en fonction des objectifs visés par l'utilisateur.

Si le développement de l'analyse de ce bassin versant dépasse le cadre des besoins d'analyses à réaliser pour l'exercice « état des lieux 2012 », il permet néanmoins d'entrevoir le potentiel d'utilisation à différentes échelles des informations, et, aussi, de rappeler la nécessité du recours à l'expertise locale pour valider les résultats obtenus, et par voie de conséquence, les décisions de gestion à venir.

Inversement, les avis des expertises locales lorsqu'ils convergent avec les analyses de risque permises par Syrah_CE, en ressortiront renforcés. Ils deviennent ainsi partageables par un plus grand nombre, décomposables étapes par étapes grâce à la manipulation des éléments d'information sous Système d'information géographique.

Bibliographie

Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2009). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau : Atlas large échelle. Rapport Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon, MAEP-LHQ, 58 p.
<http://www.irstea.fr/la-recherche/unit%C3%A9s-de-recherche/maly/hydromorphologie-et-alt%C3%A9rations-physiques-projet-syrah>

Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE). Directive du 23 octobre 2000.
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-textes.html>

Ginger Strategis (2010). SYstème Relationnel d'Audit sur l'Hydromorphologie des cours d'eau, SYRAH_CE. Rapport Technique. Agences de l'eau, Onema Cemagref. 156 p.

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement Direction de l'Eau et de la Biodiversité, 2012. Guide pour la mise à jour de l'état des lieux. Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau Article L. 212-1 II du code de l'environnement. Mars 2012, 124 p.
www.developpement-durable.gouv.fr/Les-textes.html

Naïm, P., P. Willemin, Leray, P., Pourret, O., Becker, A. (2007). Réseaux bayésiens, Eyrolles. 424 p.

Sauquet, E. (2005). Cartographie des écoulements annuels moyens en France - Note de synthèse. UR Hydrologie-Hydraulique, Cemagref Lyon : 40 p.

Sauquet, E. (2006). Cartographie des écoulements moyens mensuels en France - Note de synthèse. UR Hydrologie-Hydraulique, Cemagref Lyon : 88 p.

Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon, MAEP-LHQ, 22 p.
<http://www.irstea.fr/la-recherche/unit%C3%A9s-de-recherche/maly/hydromorphologie-et-alt%C3%A9rations-physiques-projet-syrah>

Valette, L. and Cunillera, A. (2010). Cahiers techniques Syrah_CE. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon, MAEP-LHQ, Lyon. 96 p.
<http://www.irstea.fr/la-recherche/unit%C3%A9s-de-recherche/maly/hydromorphologie-et-alt%C3%A9rations-physiques-projet-syrah>

Valette, L., Chandesris, A., Malavoi, J.R., Souchon, Y. and Willet, B. (2010). Protocole AURAH-CE : AUDit RAPide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Méthode de recueil d'informations complémentaires à SYRAH-CE sur le terrain. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema - Cemagref Lyon, MAEP-LHQ, 35 p.
<http://www.irstea.fr/la-recherche/unit%C3%A9s-de-recherche/maly/hydromorphologie-et-alt%C3%A9rations-physiques-projet-syrah>

Table des illustrations

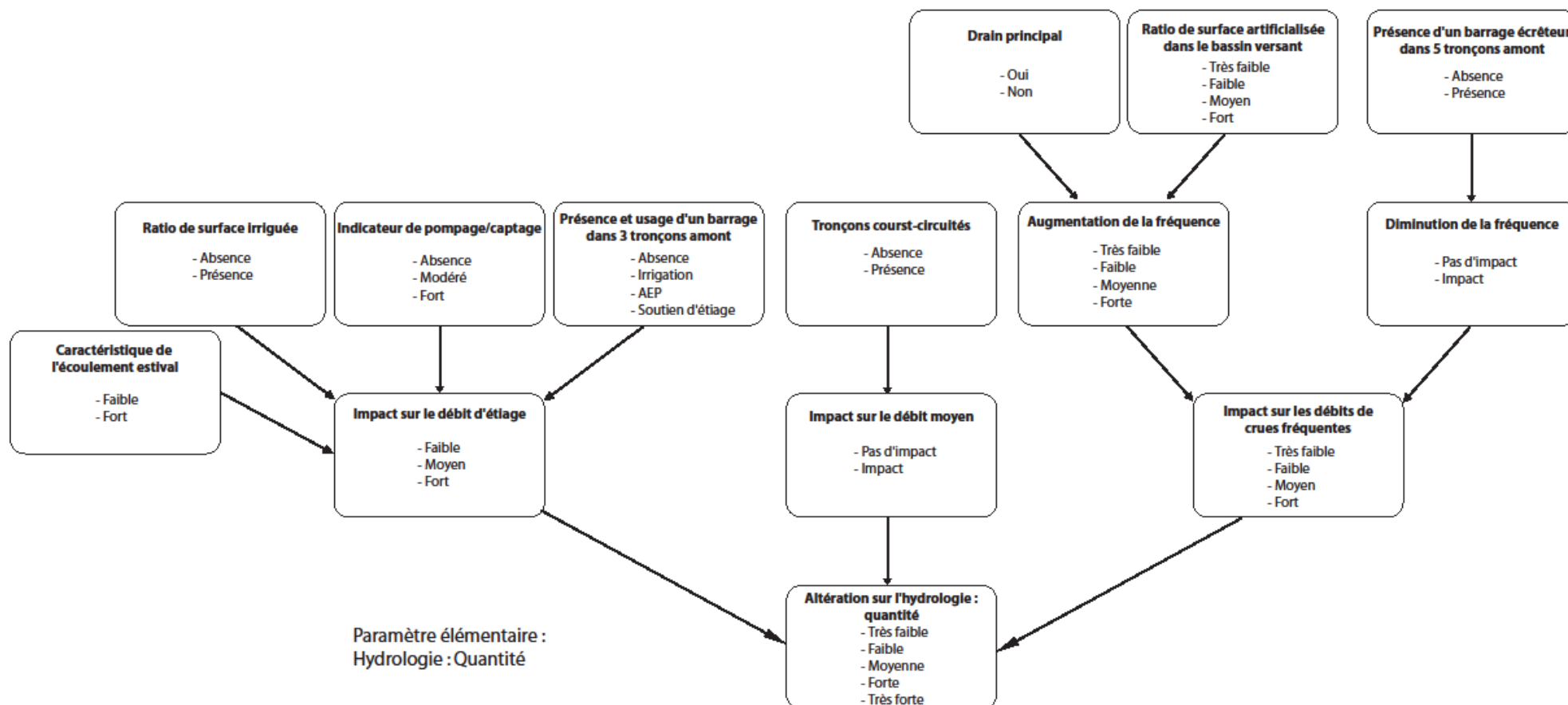
FIG. 1- SCHEMA CONCEPTUEL DE SYRAH-CE.....	7
FIG. 2- VARIABLES DE PRESSION ET RISQUES D' ALTERATIONS PHYSIQUES	8
FIG. 3 ZONES D' EXTRACTION DES DONNEES (FDV = FOND DE VALLEE).....	13
FIG. 4 INTEGRATION DE LA DONNEE « VOIES DE COMMUNICATION » A PROXIMITE DU LIT MINEUR (3 LARGEURS DE COURS D'EAU) – VARIABLE : LONGUEUR CUMULEE DE VOIES DE COMMUNICATION / LONGUEUR USRA.....	14
FIG. 5 EXEMPLE DE TABLE DE PROBABILITES CONDITIONNELLES POUR UN RESEAU SIMPLE.	38
FIG. 6 TYPES DE CONNEXIONS POSSIBLES DANS UN RESEAU A 3 NŒUDS (CONNEXION EN SERIE (A), CONNEXION CONVERGENTE (B), CONNEXION DIVERGENTE (C)).	39
FIG. 7 BASSIN VERSANT DE L' AZERGUES – OCCUPATION DU SOL	60
FIG. 8 BASSIN AZERGUES – REGIME HYDROLOGIQUE – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX MASSES D'EAU.....	61
FIG. 9 BASSIN AZERGUES – REGIME HYDROLOGIQUE – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX USRA	62
FIG. 10 BASSIN AZERGUES – CONTINUITÉ BIOLOGIQUE – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX MASSES D'EAU.....	65
FIG. 11 BASSIN AZERGUES – CONTINUITÉ PHYSIQUE – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX MASSES D'EAU	66
FIG. 12 BASSIN AZERGUES – CONTINUITÉ PHYSIQUE – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX USRA.....	69
FIG. 13 BASSIN AZERGUES – CONTINUITÉ PHYSIQUE – DONNEES DE PRESSIONS BRUTES A L'ECHELLE USRA70	
FIG. 14 BASSIN AZERGUES – CONDITIONS MORPHOLOGIQUES – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX MASSES D'EAU	72
FIG. 15 BASSIN AZERGUES – CONDITIONS MORPHOLOGIQUES – CLASSE D' ALTERATION LA PLUS PROBABLE APPLIQUEE AUX USRA.....	76
FIG. 16 BASSIN AZERGUES – CLASSE DE PRESSIONS / ALTERATIONS PAR ELEMENT DE QUALITE APPLIQUE AUX MASSES D'EAU ET SYNTHESE GENERALE	77

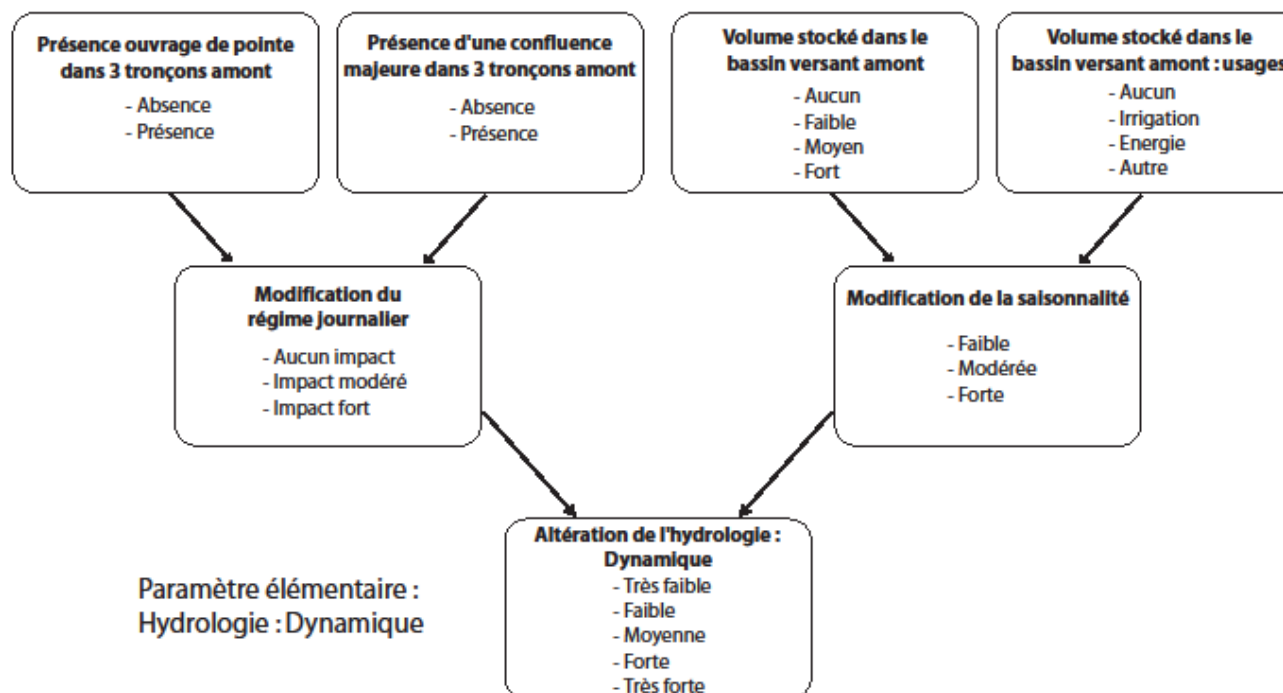
Liste des tableaux

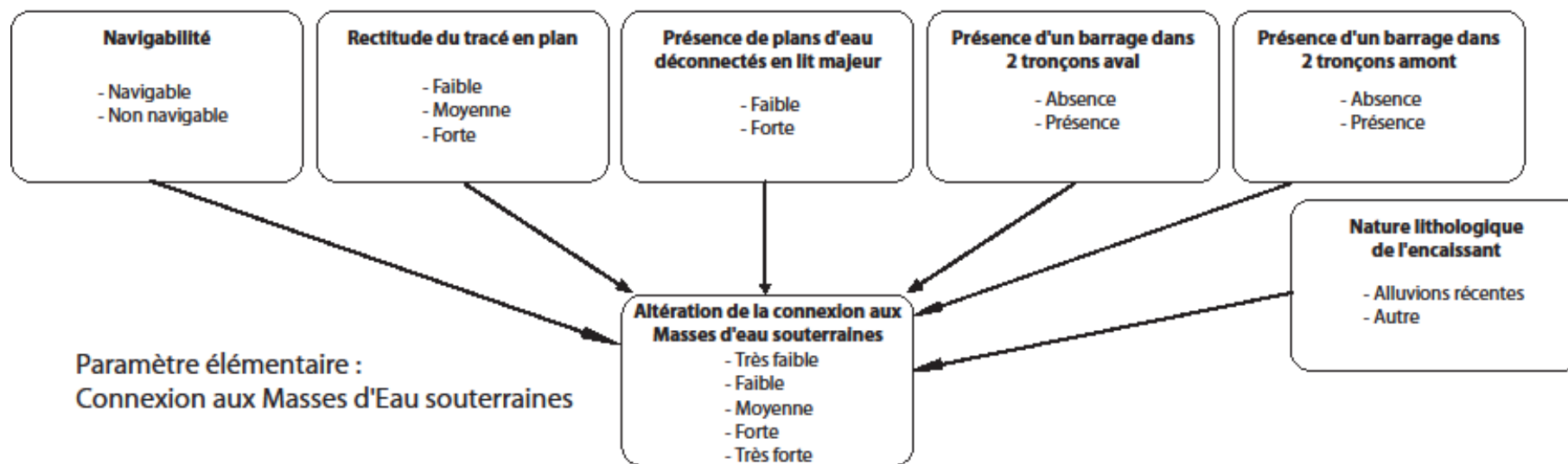
TABEAU 1. COUCHES GEOGRAPHIQUES DE L'ATLAS A LARGE ECHELLE.....	11
TABEAU 2 : DEFINITION DE LA LONGUEUR MAXIMALE DES USRA	12
TABEAU 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DESCRIPTEURS A L'ECHELLE DU TRONÇON	16
TABEAU 4 – LONGUEUR DES USI SELON LA TAILLE DU COURS D'EAU	22
TABEAU 5 : CALCUL DE LA DENSITE D'OBSTACLES A L'ECOULEMENT PONDEREE.....	29
TABEAU 6 : VALEURS DE PROBABILITE PAR CLASSE D'ALTERATION DE LA CONTINUITE DU TRANSPORT SOLIDE (CARACTERE ROUGE : CLASSE LA PLUS PROBABLE SI $P_{MAX} > 0.6$, CARACTERE BLEU : DEUX CLASSES PLUS PROBABLES SI $P < 0.6$).....	67
TABEAU 7 : VALEURS DE PROBABILITE PAR CLASSE D'ALTERATION DE LA CONTINUITE LATERALE (CARACTERE ROUGE : CLASSE LA PLUS PROBABLE SI $P_{MAX} > 0.6$, CARACTERE BLEU : DEUX CLASSES PLUS PROBABLES SI $P < 0.6$).....	68
TABEAU 8 : VALEURS DE PROBABILITE PAR CLASSE D'ALTERATION DE LA VARIATION DE LA PROFONDEUR ET DE LA LARGEUR (CARACTERE ROUGE : CLASSE LA PLUS PROBABLE SI $P_{MAX} > 0.6$, CARACTERE BLEU : DEUX CLASSES PLUS PROBABLES SI $P < 0.6$).....	73
TABEAU 9 : VALEURS DE PROBABILITE PAR CLASSE D'ALTERATION DE LA STRUCTURE ET SUBSTRAT DU LIT (CARACTERE ROUGE : CLASSE LA PLUS PROBABLE SI $P_{MAX} > 0.6$, CARACTERE BLEU : DEUX CLASSES PLUS PROBABLES SI $P < 0.6$).....	74
TABEAU 10 : VALEURS DE PROBABILITE PAR CLASSE D'ALTERATION DE LA STRUCTURE DE RIVE (CARACTERE ROUGE : CLASSE LA PLUS PROBABLE SI $P_{MAX} > 0.6$, CARACTERE BLEU : DEUX CLASSES PLUS PROBABLES SI $P < 0.6$).....	75

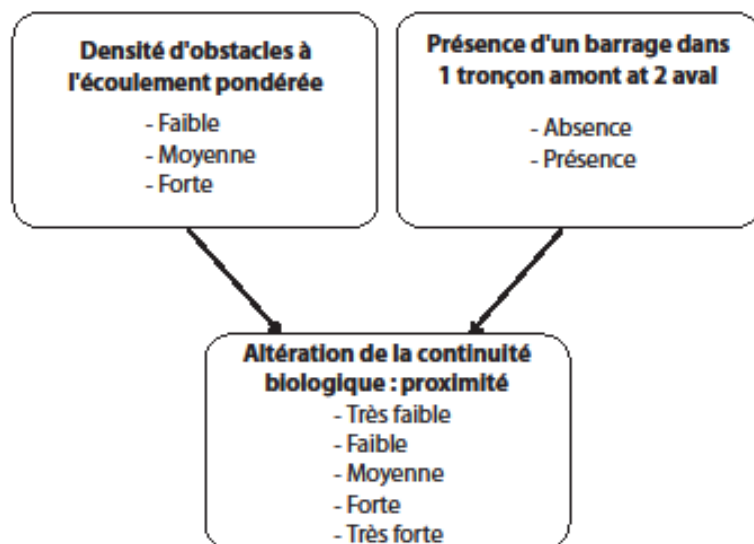
Annexes

Annexe 1 : Graphes bayésiens détaillés

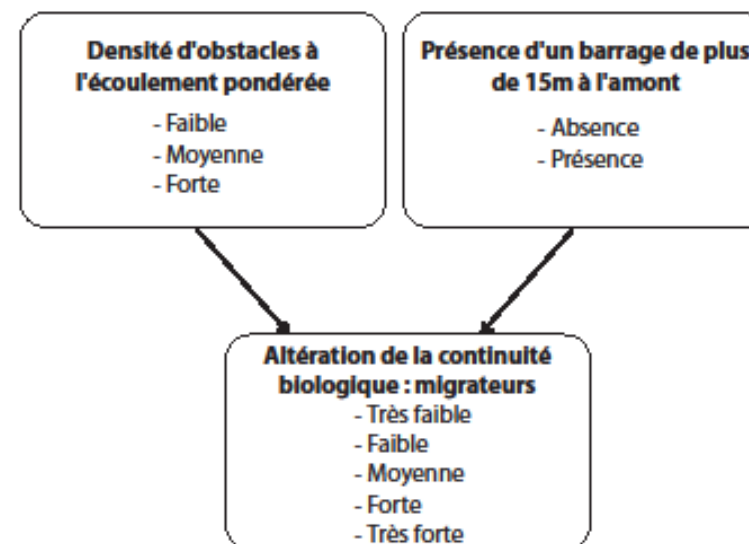




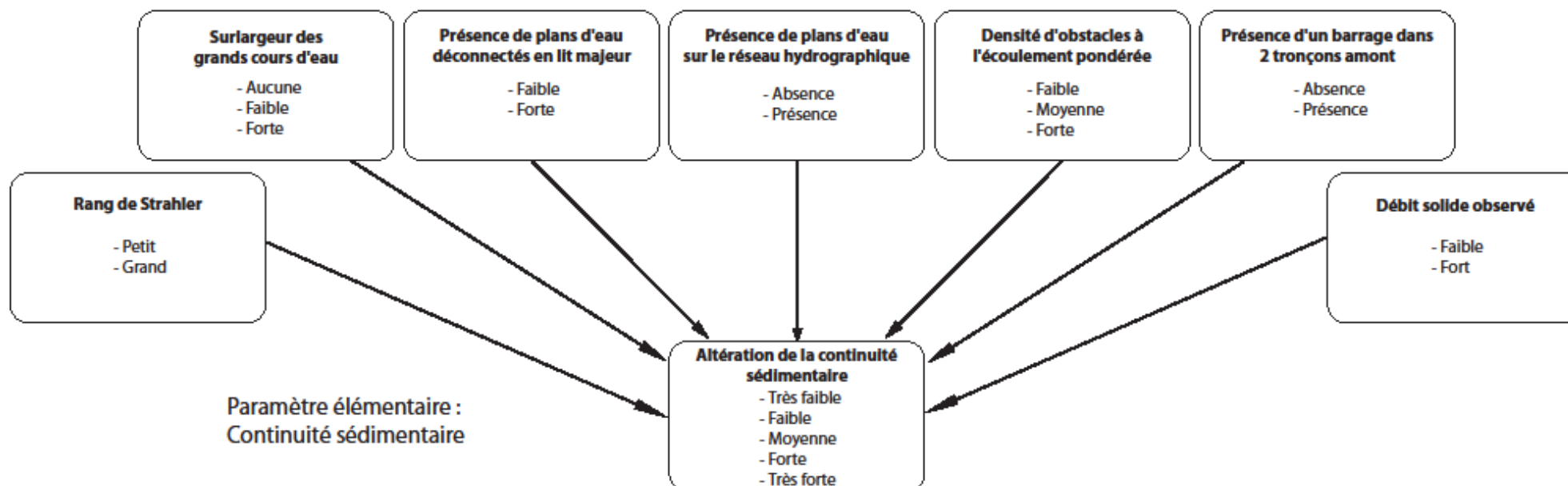


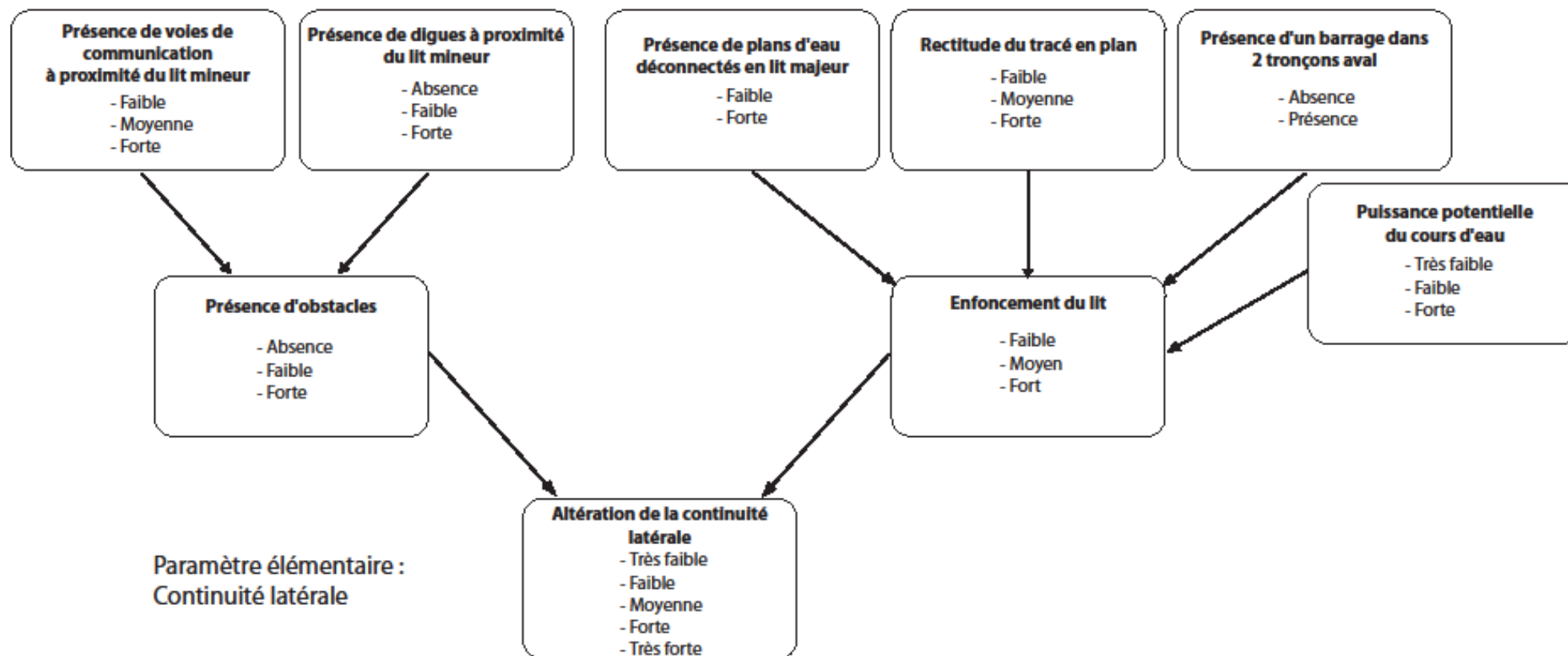


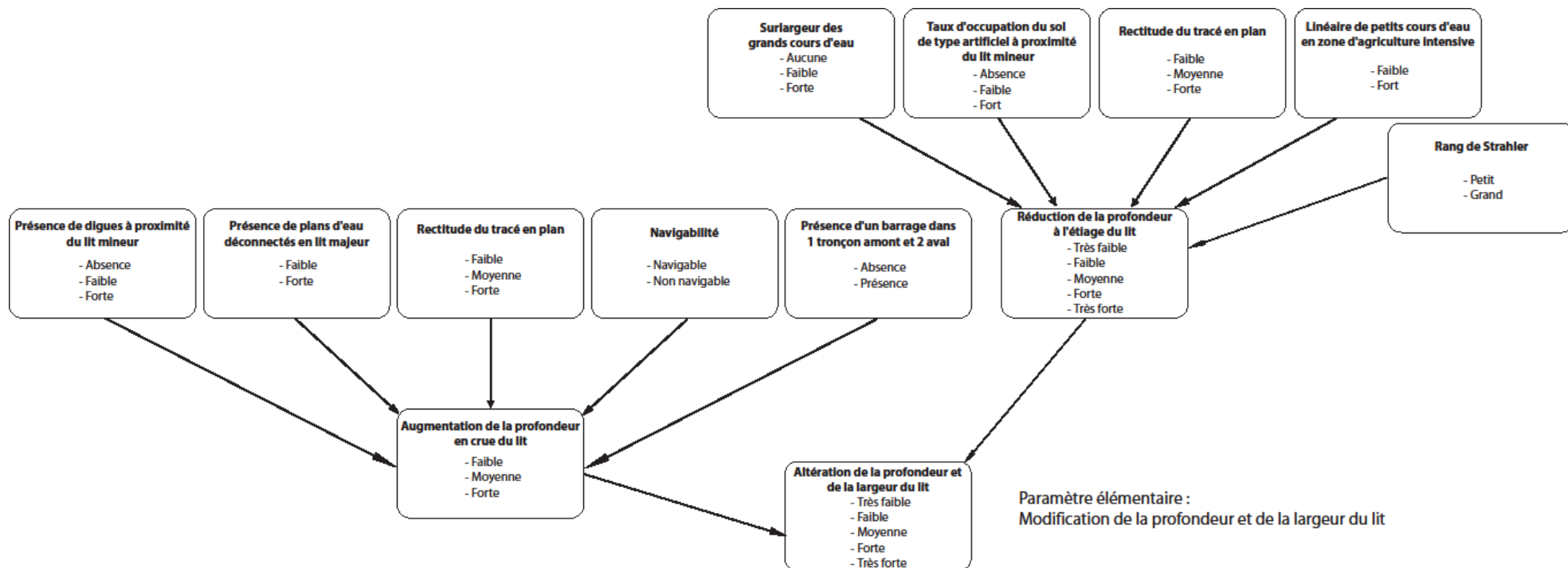
Paramètre élémentaire :
Continuité biologique : proximité

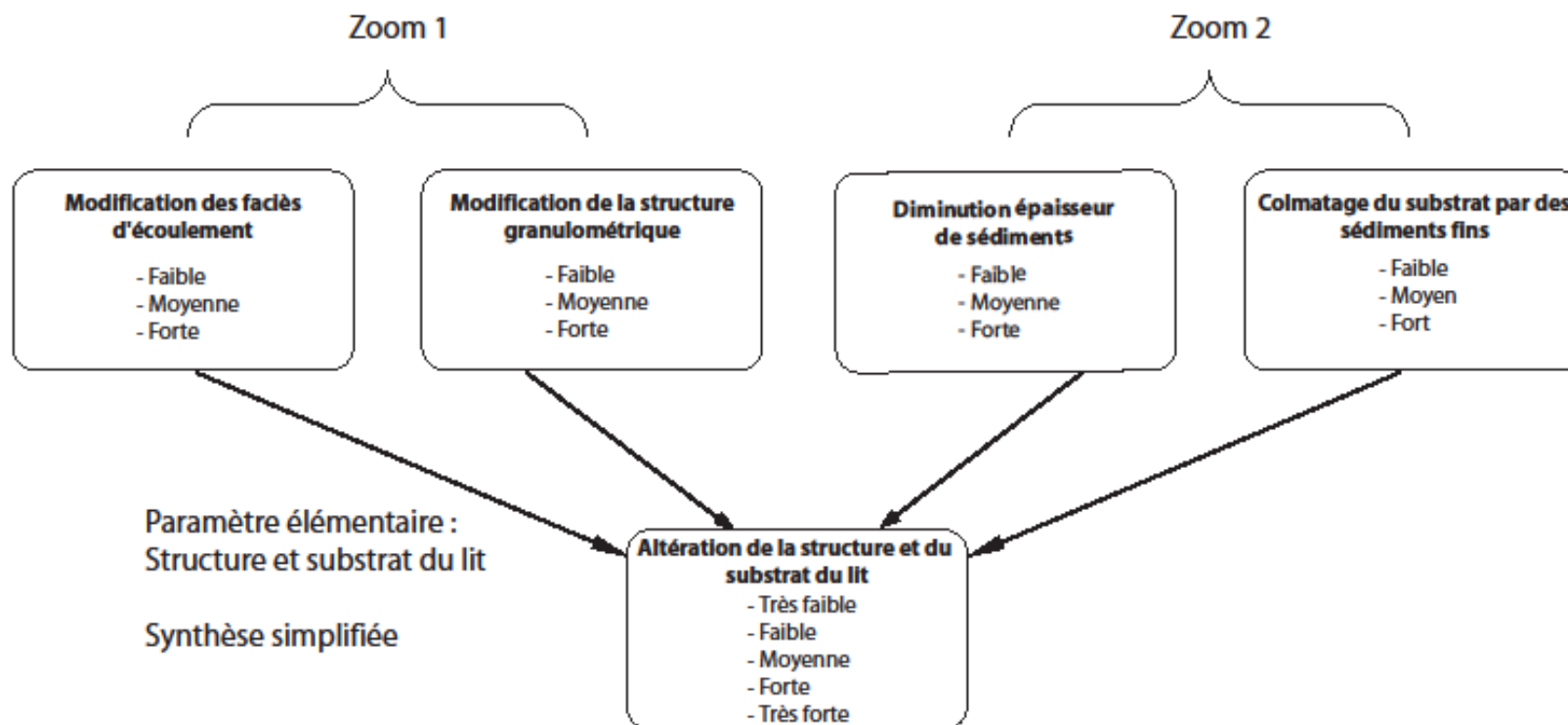


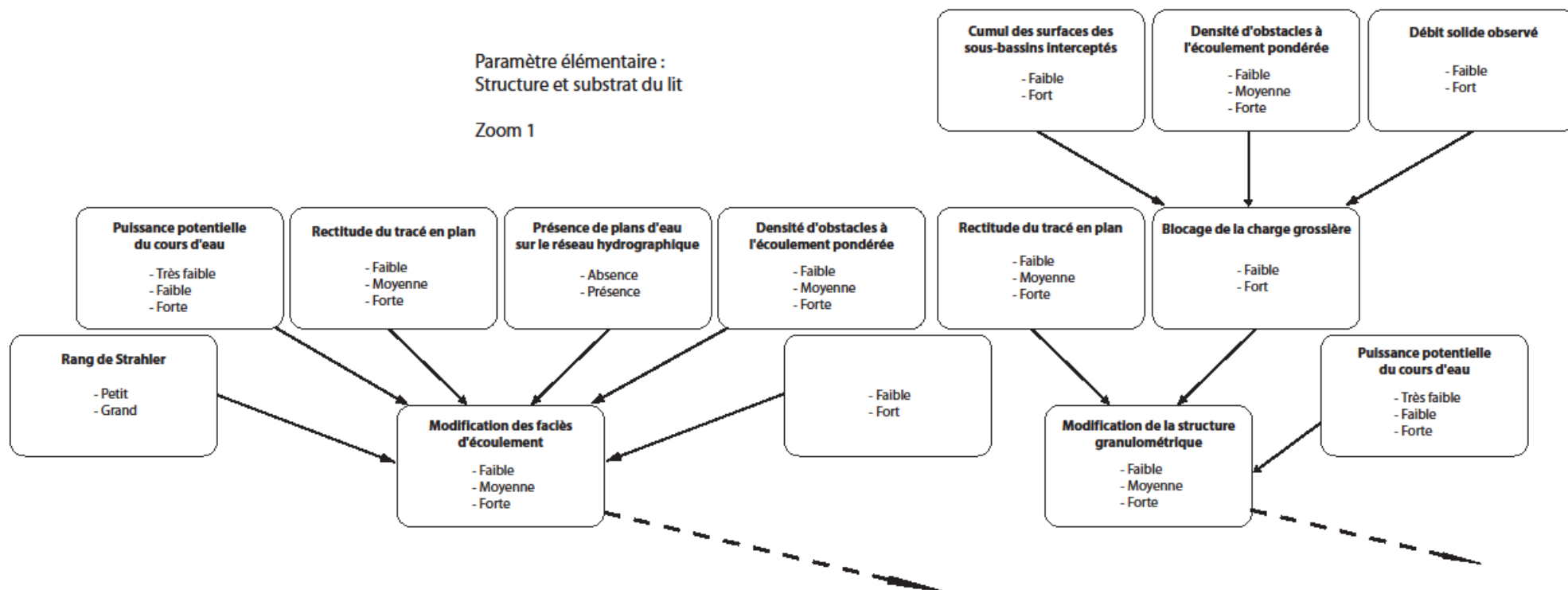
Paramètre élémentaire :
Continuité biologique : migrateurs





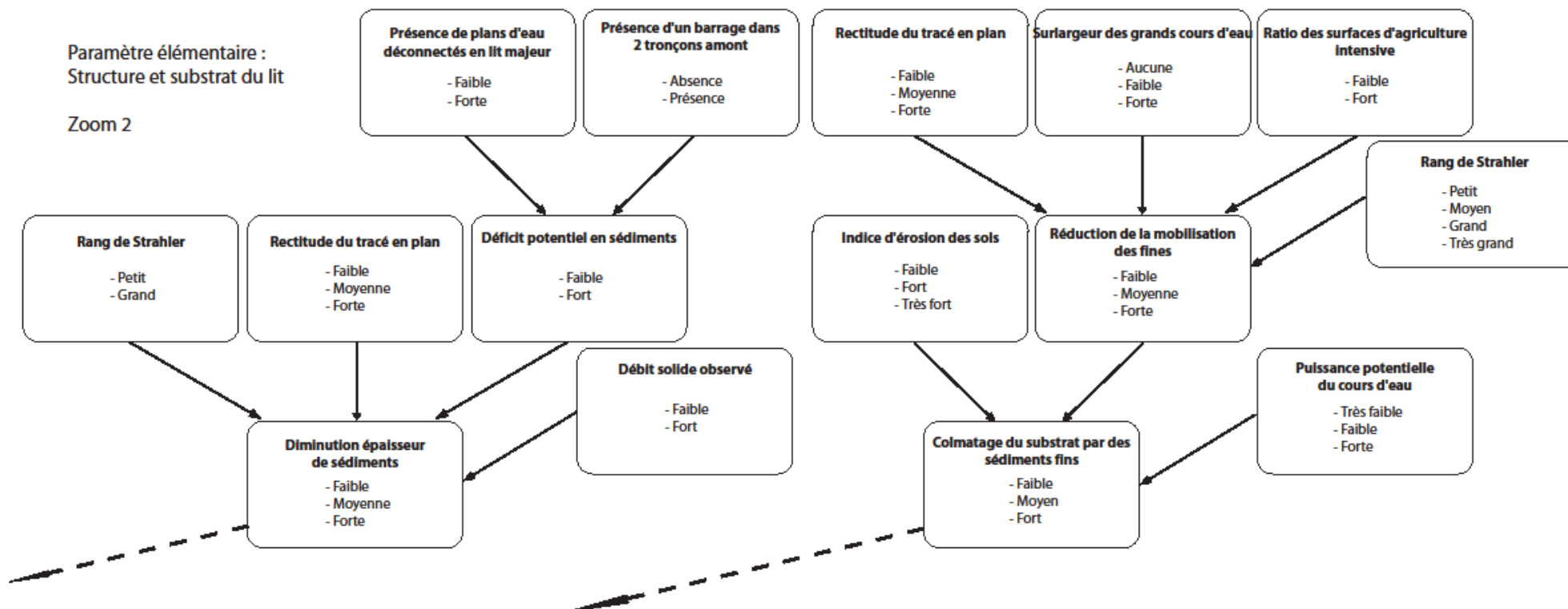


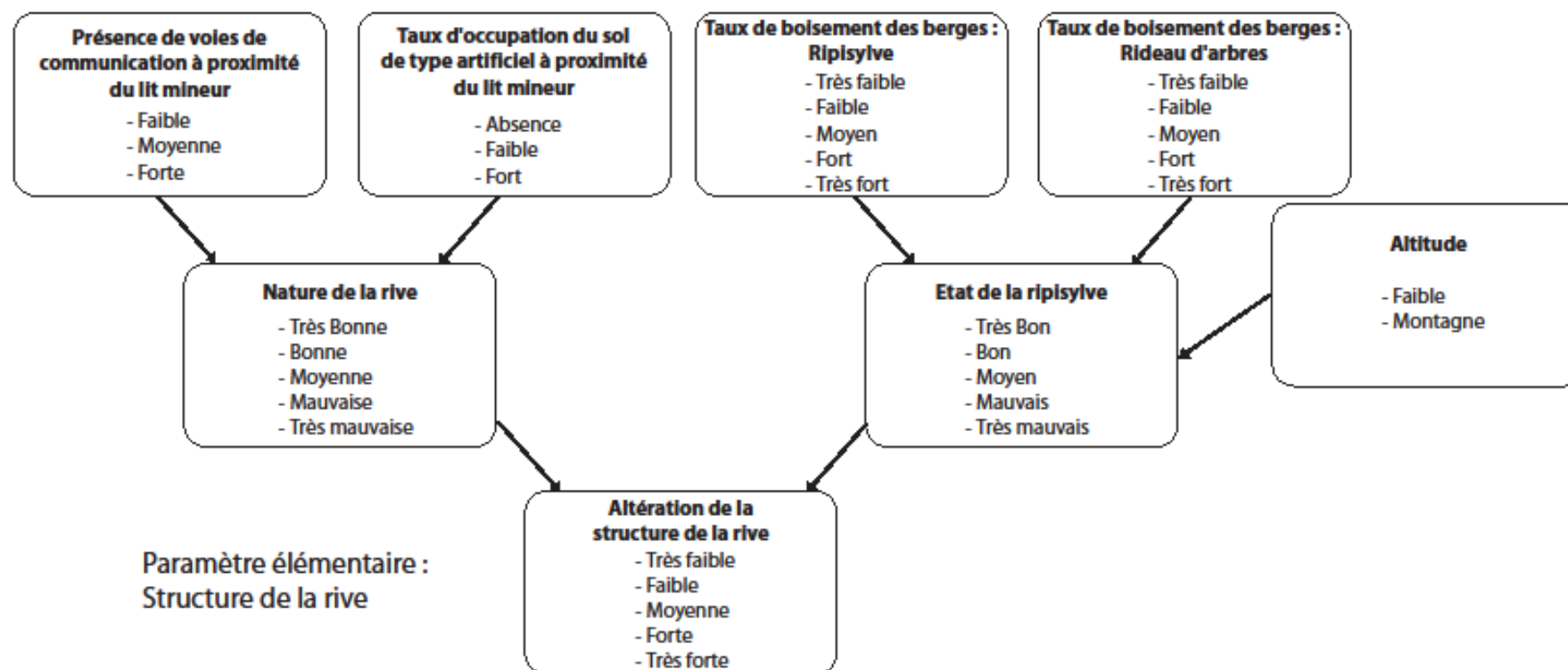




Paramètre élémentaire :
Structure et substrat du lit

Zoom 2





Annexe 2 : Compte rendu du GTN Hydromorphologie du 8 juin 2012 (décision préliminaire à une note de cadrage en cours de rédaction)



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, ET DE L'ÉNERGIE

Direction générale de l'aménagement
du logement et de la nature
Direction de l'eau et de la biodiversité

La Défense, le 24 juillet 2012

Sous-direction des espaces naturels
Bureau des milieux aquatiques

Nos réf. : CR_GT_HM_08_06_12_V4

Affaire suivie par : MOY Johann
johann.moy@developpement-durable.gouv.fr
Tél. 01 40 81 30 76 – Fax : 01 40 81 82 55

Objet : Compte rendu du GTN hydromorphologie des cours d'eau du 8 juin 2012

VOLET ETAT DES LIEUX

Préambule :

Rappel: La DCE mentionne en son annexe II 1.4. que « Les États membres collectent et mettent à jour des informations sur le type et l'ampleur des pressions anthropogéniques importantes auxquelles les masses d'eau de surface peuvent être soumises dans chaque district hydrographique, notamment :

- estimation et identification de l'incidence des régulations importantes du débit d'eau, y compris les transferts et diversions d'eau, sur les caractéristiques générales du débit et les équilibres hydrologiques ;
- identification des altérations morphologiques importantes subies par les masses d'eau ; »

Cela signifie donc que pour l'hydromorphologie c'est bien une description des types et de l'ampleur des pressions et des altérations présentes dans le bassin qui nous est demandée. Nous répondons dans cette exercice à l'étape a) de l'analyse des incidences des activités humaines sur l'état des eaux qui comporte :

- a) Une description des types et de l'ampleur des pressions présentes dans le bassin ;
- b) Une évaluation de l'incidence de ces pressions sur l'état des masses d'eau ;
- c) La prise en compte d'un scénario tendanciel d'évolution des pressions (dont l'évolution prévisible de la demande en eau et de la ressource disponible et de la répartition de cette ressource entre les utilisateurs) ;
- d) L'identification des masses d'eau qui risquent de ne pas atteindre : .../...
environnementaux (RNAOE) d'ici 2021.

Pour être clair sur la terminologie les analyses explicitées ci-après ne peuvent conduire en cette première étape à utiliser le terme de « pressions importantes » car comme définit dans le guide pour la mise à jour de l'état des lieux, sont qualifiées de *pressions importantes (significatives)* celles :

- (i) *Causes d'un risque de non-atteinte des objectifs environnementaux d'ici 2021 (RNAOE 2021) ;*
- (ii) *S'appliquant aux masses d'eau en situation de dégradation actuelle de l'état ;*
- (iii) *Jugées importantes en fonction des seuils définis pour le rapportage DCE de mars 2010 ;*

Le périmètre de l'exercice (cf annexe1) mené par les membres du « groupes technique national hydromorphologie cours d'eau » ci-après n'inclut pas l'analyse des incidences ou impact sur l'état des masses d'eau. La notion de « pression importante » ne peut être employée qu'après la confrontation de ces données de pressions et altérations hydromorphologiques avec les données d'état et sous conformité des alinéa (i), (ii) et (iii) ci-avant.

Selon cette même logique toute notion de « risque hydromorphologique » serait abusive, elle est donc à proscrire concernant la finalité de cet exercice.

Nous emploierons donc les notions de « probabilité de pressions et d'altérations » (faible, moyenne ou forte) pour l'agrégation à l'élément de qualité, et de « probabilité de pressions et d'altérations » (faible ou forte) pour le rendu final à la masse d'eau.

Le cadrage méthodologique que nous proposons ici permet de simplifier la compréhension et de faciliter la communication. Il n'est pas imposé mais permet de guider l'exercice à mener dans les bassins.

Pour rappel il convient de garder la trace des méthodes et des grandes hypothèses structurantes faites au niveau du bassin pour construire l'état des lieux. Cet exercice d'analyse des pressions et altérations hydromorphologiques en fait partie intégrante.

Plus globalement, toutes les informations jugées nécessaires à la préparation du prochain programme de mesures doivent être collectées et bancarisées, notamment, pour chaque masse d'eau à risque de non-atteinte des objectifs environnementaux (RNAOE) 2021. Ces éléments serviront d'informations de référence pour la définition et la justification des actions à prévoir pour le second cycle.

Pour rappel la note du 22 décembre 2011 « L'Hydromorphologie et l'actualisation du risque pour la mise à jour de l'état des lieux de la DCE en 2013 » précisait déjà qu'« *il conviendra pour la partie spécifique à l'hydromorphologie de pouvoir conserver précisément les outils et avis complémentaires ayant conduit à une modulation des résultats fournis par SYRAH-CE. Ces éléments devront être tracés, décrits et argumentés. A minima un tableau du type ci-dessous devra être rempli.*

Code Masse d'eau	Elément de qualité HM concerné	Outil complémentaire utilisé	Type d'action réalisée	Argumentation

Cette traçabilité est d'autant plus importante lors d'un recours à l'expertise des services territoriaux. La modulation de diagnostic ne pourra être réalisée sans un argumentaire recevable afin d'éviter de tomber dans des considérations peu pertinentes sur des altérations très localisées ayant peu de répercussions à l'échelle de la masse d'eau, qui pour rappel est l'échelle d'analyse d'évaluation des pressions dans la cadre de cet exercice.

1. Rapportage des pressions hydromorphologiques dans Wise (Cf : ppt présenté en séance)

Objectif : proposer un remplissage harmonisé des pressions et altérations hydromorphologiques de la nomenclature Wise, par le biais des éléments de qualité hydromorphologique de la DCE

Le constat est fait que la nomenclature des « pressions » Wise, issue directement de l'annexe II de la DCE, est inadaptée. Elle liste des usages (forces motrices), des pressions et des altérations. Les items sont parfois redondants entre eux, et entre les niveaux. Le remplissage lors du premier exercice de 2004 n'était pas homogène entre les bassins. Il est donc proposé de simplifier et d'harmoniser le rapportage Wise pour les pressions et altérations hydromorphologiques. Par ailleurs ce rapportage ne peut servir à lui seul à la construction du PDM, mais néanmoins la cohérence des deux exercices doit être assurée par une bonne traçabilité des choix entrepris. Les travaux d'identification des pressions et altérations sur base du Syrah et des données complémentaires de bassin, beaucoup plus détaillés et fonctionnels, serviront bien quant à eux de socle pour la construction du PDM.

Ainsi il est décidé de ne conserver que les premiers niveaux de nomenclature et uniquement sur les trois items suivants :

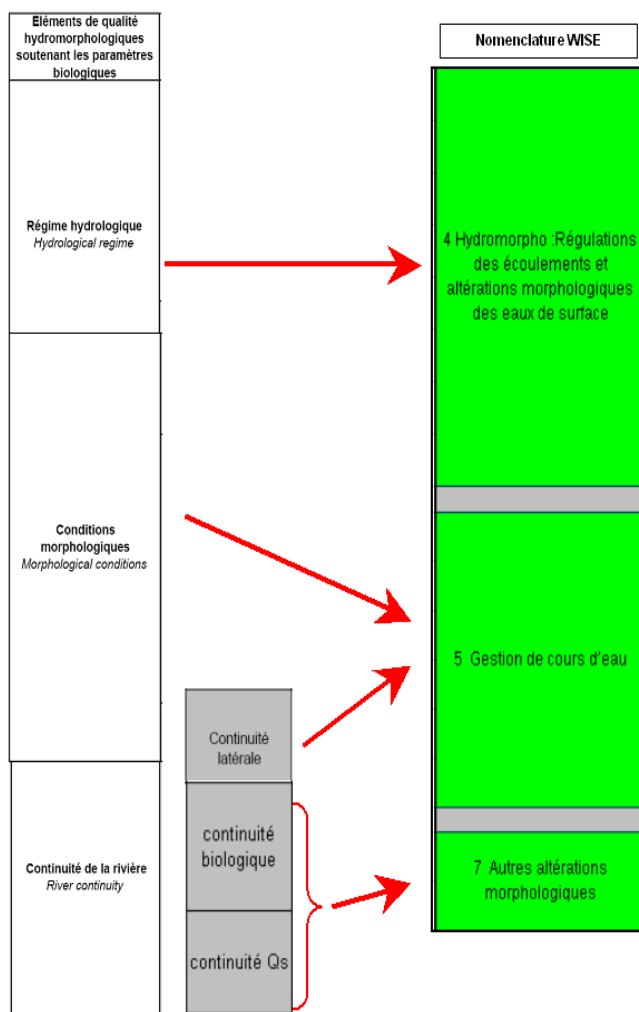
- 4 - Water flow regulations and morphological alterations of surface water
Régulations des écoulements et altérations morphologiques des eaux de surface
- 5 - River management : Gestion de cours d'eau
- 7 - Other morphological alterations : Autres altérations morphologiques

Ces items seront remplis avec les résultats de l'exercice d'analyse des pressions et des probabilité d'altération au niveau des trois éléments de qualité hydromorphologique de la DCE, à savoir :

- Régime Hydrologique : « 4 - Water flow regulations and morphological alterations of surface water/Régulations des écoulements et altérations morphologiques des eaux de surface »
- Continuité de la rivière : « 7 - Other morphological alterations : Autres altérations morphologiques »
Cet item 7 correspondra uniquement à la continuité longitudinale pour les organismes aquatiques et le transport des sédiments (le paramètre élémentaire « continuité latérale » sera rattaché quant à lui à l'item 5)
- Conditions morphologiques : « 5 - River management : Gestion de cours d'eau » et le paramètre élémentaire « continuité latérale » qui correspond plus à des modifications de structure.

Un travail sera à réaliser au second semestre sur la base du SYRAH pour être force de proposition auprès de la CE, et ainsi proposer une nomenclature WISE plus cohérente avec les pressions et altérations constatées. En parallèle une table devra être construite entre nouvelle nomenclature et l'ancienne pour garder la traçabilité des choix entrepris.

Schéma récapitulatif



2. Point sur le traitement des probabilités d'altération des paramètres de qualité hydromorphologique SYRAH (attribution d'une classe et expression de niveau de confiance associé aux probabilités)

Objectif : avoir une vision d'ensemble, cohérente par bassin pour les consultations techniques en fonction des enjeux présents, offrant la possibilité de comparaison avec d'autres territoires

1ère étape :

Présentation de cartes du STL/DT/CTT par paramètres de la probabilité la plus forte.



2ème étape :

Traitement des probabilités pour engager une logique de tamis dans le but de limiter le volume de masses d'eau à analyser (minimiser le temps d'expertise et/ou le besoin de données complémentaires).

Conservation de 3 classes de probabilités de pressions et d'altérations (suffisantes pour l'exercice, faible, moyenne et forte) et donc concaténation suivante :

très faible + faible = **Faible**

Moyen

Fort + très forte = **Forte**

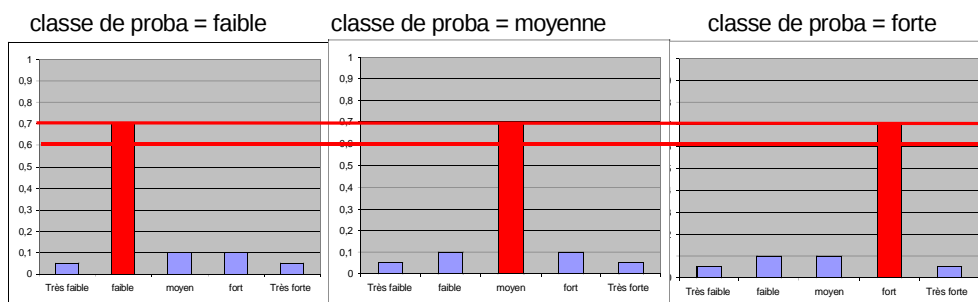
niveau de confiance (NC) élevé = 3; nul 0

Expertise/données complémentaires (EXP) obligatoire = 3, nulle 0

Filtre 1 :

but : Identifier les probabilités dont le niveau de confiance est élevée **NC=3/EXP=0**

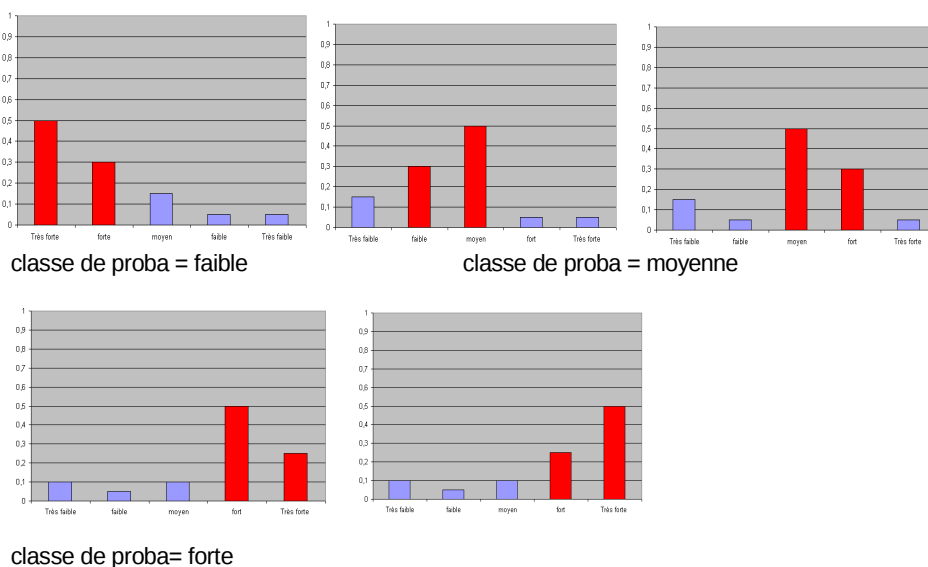
- Choisir un seuil : 0.6 ou 0.7 et considérer les valeurs de probabilités supérieures comme suffisamment robuste pour choisir la classes d'altérations.



Filtre 2 :

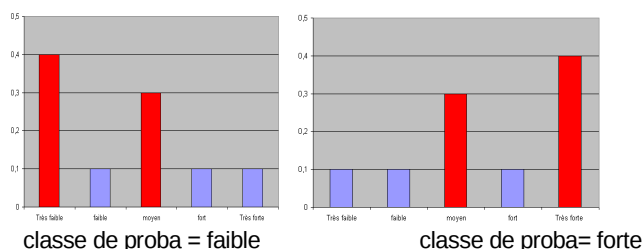
but : sortir un tendance forte **NC=3 /EXP=1**

- travail sur les classes adjacentes (somme des classes adjacentes possible)

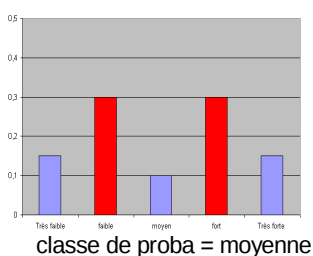


Filtre 3 :

- travail sur l'écart entre les deux classes les plus élevées= 1 seule classe d'écart
- aux « extrémités » **NC=2 /EXP=2**

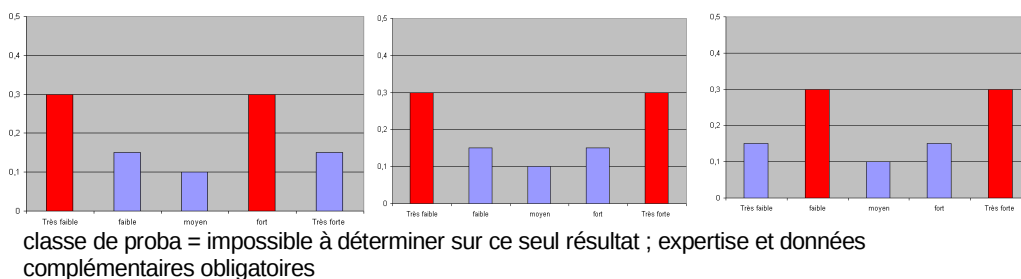


- centré **NC=1 /EXP=2**



Filtre 4 : **NC=0 /EXP=3**

- travail sur l'écart entre les deux classes les plus élevées= 2 classes d'écart et plus



Un arbre de décision réalisé par le bassin Adour-Garonne résumant la démarche est présent en annexe 2.

3. Agrégation des paramètres élémentaires et éléments de qualité entre eux, synthèse globale d'une probabilité de pressions et d'altérations hydromorphologiques.

Objectif : produire une éventuelle « synthèse globale » traduisant l'évaluation des pressions et altérations pour les trois éléments de qualité hydromorphologiques : régime hydrologique, continuité et conditions morphologiques ainsi que pour l'hydromorphologie en général.



L'agrégation des paramètres élémentaires et encore plus des éléments de qualité entre eux est une opération qui peut faire perdre son sens à la donnée produite, ainsi certains bassins ne souhaitent pas forcément mettre en œuvre une agrégation pour identifier un « indice unique » de pressions et d'altérations hydromorphologiques. De plus certains paramètres élémentaires se prêtent plus ou moins bien à une ré-agrégation à l'échelle de la masse d'eau, notamment pour des pressions et altérations localisées telles que l'absence de ripisylve ou les protections de berges.

L'origine d'une sectorisation hydromorphologique sur laquelle repose l'analyse SYRAH-CE provient du constat qu'il n'est possible d'appréhender correctement les pressions et altérations hydromorphologiques que sur la base de ce découpage homogène. L'agrégation à la masse d'eau dont le découpage n'est pas totalement homogène de ce point de vue conduit inévitablement à lisser et simplifier l'information résultante.

Néanmoins pour faciliter l'analyse et permettre un rendu à la masse d'eau nécessaire pour le rapportage, nous proposons via le cadrage ci-après, une possible méthodologie d'agrégation des paramètres élémentaires et éléments de qualité pour décrire les pressions et altérations, en synthétisant l'information à la masse d'eau. Pour autant cette agrégation doit rester transparente et permettre de faire facilement le lien entre les éléments de qualité et la synthèse finale dans un souci de communication envers les partenaires.

3.1. Agrégation des probabilités des paramètres élémentaires pour obtenir une probabilité de pressions et d'altérations à l'élément de qualité hydromorphologique.

Sur la base du SYRAH-CE, 10 probabilités de pressions et d'altérations sur les paramètres élémentaires ont été produites à l'échelle de la masse d'eau. Les premières pistes d'analyse nous conduisent à attribuer un poids relatif aux paramètres élémentaires non pas en rapport avec leurs impacts sur l'écologie, mais basé sur la robustesse de l'information issue de sa construction dans SYRAH-CE. Ne sont pas pris en compte dans cette agrégation les données complémentaires que les bassins pourraient apporter selon le cadre formalisé dans la note DEB du 20 décembre 2011 « L'Hydromorphologie et l'actualisation du risque pour la mise à jour de l'état des lieux de la DCE en 2013 »

Principes :

- Pour chaque paramètre élémentaire : probabilité de pressions et d'altérations en 3 classes (faible, moyenne, forte) ;
- Pondération dans l'agrégation selon la robustesse (qualité) de la donnée ayant servi à qualifier le paramètre élémentaire ;
- Pour chaque élément de qualité (hydrologie, continuité, morphologie) : probabilité de pressions et d'altérations en 3 classes (faible, moyenne, forte) ;
 - Pour la « synthèse globale » hydromorphologie à la masse d'eau : probabilité de pressions et d'altérations en 2 classes (faible, forte) .

Résumé des poids relatifs attribués à chaque probabilité des paramètres élémentaires :

				Pondération selon la robustesse de la donnée						Pondération selon la robustesse de la donnée						Pondération selon la robustesse de la donnée	
HYDRO	qté	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,5	INDICE de FRAQ	0-0,17	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,165	Largeur et profondeur	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,2							
		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25		0,17-0,34	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,165		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
	Dyn	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25		0,34-1	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,165		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
CONTINUITÉ	connexion	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25	TX ET AGT		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33	Substrat	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25			<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
	Latérale	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25			<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
MORPHO		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25	Sédiments		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33	Ripisylve	<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25			<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							
		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,25			<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,33		<div><div>Très faible</div><div>faible</div><div>moyenne</div><div>forte</div><div>Très forte</div></div>	0,4							

Les couleurs employées ici le sont dans le seul but de faciliter la lisibilité, elles n'ont aucun lien avec la notion d'état.

Le détail des options possibles pour aboutir aux probabilités de pressions et d'altérations par élément de qualité est explicité dans le document Xls. Ci-joint « traitement_des_probabilités_et_agrégations_EQHM ».

3.2. Agrégation des probabilités de pressions et d'altérations des éléments de qualité pour obtenir une probabilité de pressions et d'altérations hydromorphologiques synthétique à l'échelle de la masse d'eau.

Il a été proposé en réunion un mode d'agrégation pour obtenir une « synthèse globale » à la masse d'eau. Cet exercice n'est pas obligatoire mais peut être utile.

Ainsi la règle suivante a été adoptée :

Si au moins un élément de qualité fait état d'une probabilité de pressions et altérations fortes alors la synthèse globale correspondra à qualifier la masse d'eau comme ayant une probabilité de pressions et altérations fortes à la masse d'eau.
Si deux éléments de qualité font état de probabilités de pressions et altérations moyennes alors la la synthèse globale correspondra à qualifier la masse d'eau comme ayant une probabilité de pressions et altérations fortes à la masse d'eau.
Si trois éléments de qualité font état de probabilités de pressions et altérations faibles alors la note la synthèse globale correspondra à qualifier la masse d'eau comme ayant une probabilité de pressions et altérations faible à la masse d'eau.
Si un élément de qualité fait état d'une probabilité de pressions et altérations moyennes et les deux autres font état de probabilités de pressions et altérations faibles alors la synthèse globale correspondra à qualifier la masse d'eau comme ayant une probabilité de pressions et altérations faible à la masse d'eau.

Si EQHM >= proba pressions fortes	□ synthèse globale = proba de pressions et altérations fortes
Si 2 EQHM = proba de pressions moyennes	□ synthèse globale = proba de pressions et altérations fortes
Si 3 EQHM = proba de pressions faibles	□ synthèse globale = proba de pressions et altérations faibles
Si 2 EQHM = proba de pressions faibles et 1 EQHM = proba de pressions moyennes	□ synthèse globale = proba de pressions et altérations faibles

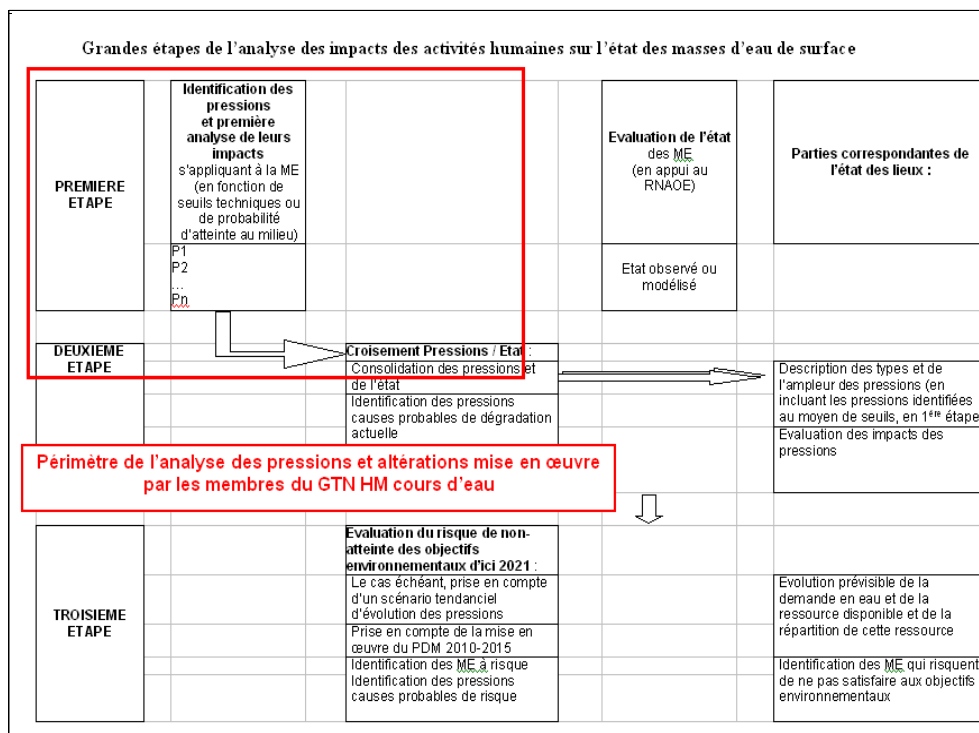
Résumé de l'agrégation des probabilités de pressions et d'altérations aux éléments de qualité et pour la synthèse globale à la masse d'eau, réalisé en réunion sous forme de schéma :

Hydro	Faible		Hydro	Faible		Hydro	Faible		Hydro	Moyenne		Hydro	Moyenne	
Continuité	Faible	Faible	Continuité	Faible	Faible	Continuité	Moyenne	Forte	Continuité	Moyenne	Forte	Continuité	Moyenne	Forte
Morpho	Faible		Morpho	Moyenne		Morpho	Moyenne		Morpho	Moyenne		Morpho	Forte	
Hydro	Forte		Hydro	Moyenne		Hydro	Forte		Hydro	Moyenne		Hydro	Forte	
Continuité	Faible	Forte	Continuité	Faible	Forte	Continuité	Forte	Forte	Continuité	Forte	Forte	Continuité	Forte	Forte
Morpho	Faible		Morpho	Forte		Morpho	Faible		Morpho	Forte		Morpho	Forte	

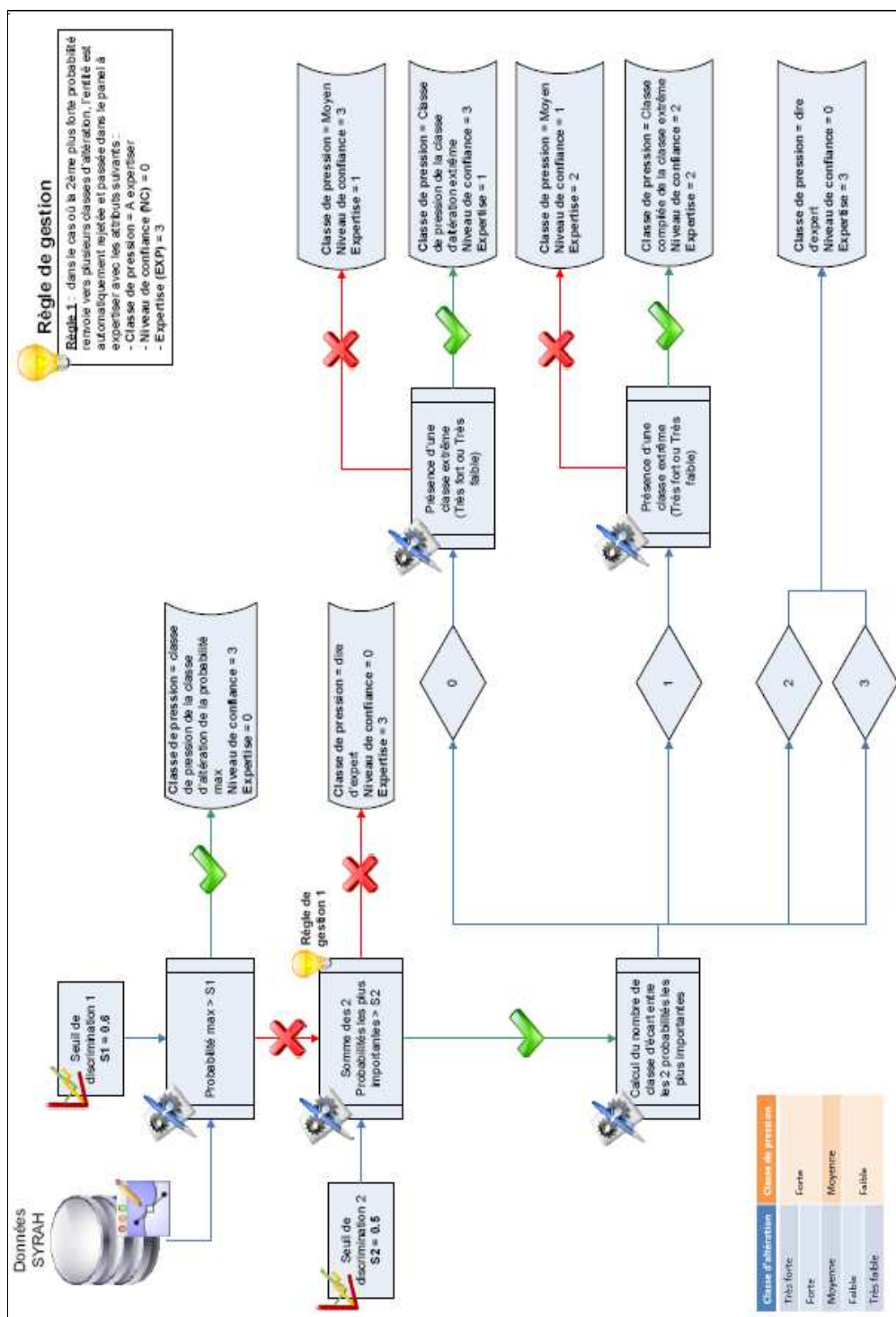
Les couleurs employées ici le sont dans le seul but de faciliter la lisibilité, elles n'ont aucun lien avec la notion d'état

ANNEXE 1

Périmètre de l'exercice mené par les membres du « groupes technique national l'hydromorphologie cours d'eau » pour l'évaluation de pressions et altérations hydromorphologiques, pour la mise à jour de l'état de lieux.



ANNEXE 2





**SYRAH-CE : Description des données et modélisation du risque
d'altération hydromorphologique des cours d'eau pour l'état des lieux
DCE**

Rapport final

Valette L., Piffady J., Chandesris A., Souchon Y.



Irstea

1, rue Pierre Gilles de Gennes
CS 10030
92761 Antony
01 40 96 61 21
www.irstea.fr

Onema

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr