



PRHYMO

Plateforme Pressions et Risques d'impacts HYdroMOrphologiques

Rapport méthodologique *Juin 2024*

Document associé à la version 062024.1.2

Présentation du document

Ce document fait partie d'un ensemble de documents qui accompagnent la diffusion des données de la version 062024.1.2 de PRHYMO :

- Rapport méthodologique : document principal qui décrit les principes de l'évaluation des pressions et risques d'altération hydromorphologiques, les méthodes utilisées et leurs évolutions par rapport aux précédents dispositifs SYRAH-CE et RHUM ;
- Rapport de comparaison : document qui compare les résultats des nouvelles évaluations avec les précédentes, issues des dispositifs SYRAH-CE et RHUM ;
- Spécifications techniques : document destiné aux administrateurs et gestionnaires de base de données pour prendre en main la banque de données, mettre à jour les données d'entrée puis relancer les calculs ;
- Scripts de mise en œuvre des algorithmes de calcul ;
- Document de présentation de la structure des arbres bayésiens : permet une visualisation rapide des modèles d'évaluation de chaque paramètre hydromorphologique ;
- Dictionnaire des attributs: décrit les attributs des données SIG fournies aux opérateurs, dans le cadre de la mise à jour des états des lieux DCE 2025 ;
- Sources de données : indique l'origine des données d'entrée utilisées.

Citation du document

Grosprêtre L., Kreutzenberger K., 2024. Plateforme Pressions et Risques d'impacts HYdroMORphologiques (PRHYMO) : rapport méthodologique. Dynamique Hydro et Office Français de la Biodiversité, juin 2024.

Citation du jeu de données

Grosprêtre L., Despres D., Ribot N., Valette L., Piffady J., Kreutzenberger K., 2024. Plateforme Pressions et Risques d'impacts HYdroMORphologiques (PRHYMO) : données et résultats. Version 062024.1.2, juin 2024. Office Français de la Biodiversité – Dynamique Hydro – Neogeo Technologies – Geospatial Solutions – Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES TABLEUX	6
1- INTRODUCTION.....	7
1.1- CONTEXTE ET OBJECTIFS	7
1.2- PRINCIPE GENERAL DES EVALUATIONS.....	7
1.3- ELEMENTS DE QUALITE ET PARAMETRES ELEMENTAIRES	8
1.4- CONTENU DU RAPPORT	9
2- REVISION DES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES.....	10
2.1- PROPRIETES GENERALES DES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES NUMERIQUES	10
2.2- ECHELLES D'ANALYSE	12
2.3- EVALUATION ET REVISION DES RESEAUX	12
2.3.1- <i>Guadeloupe</i>	12
2.3.2- <i>Martinique</i>	15
2.3.3- <i>Guyane</i>	17
2.3.4- <i>La Réunion</i>	20
2.3.5- <i>Mayotte</i>	22
2.3.6- <i>Hexagone</i>	24
2.4- VUE D'ENSEMBLE DES RESEAUX PRHYMO.....	29
3- STRUCTURE DES MODELES D'EVALUATION.....	30
3.1- NŒUD RECTIFICATION	30
3.1.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	30
3.1.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	30
3.2- NŒUD CONTRAINTES LATERALES	31
3.2.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	31
3.2.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	32
3.3- NŒUD COLMATAGE DU LIT.....	32
3.3.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	32
3.3.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	33
3.4- NŒUDS DEFICIT SEDIMENTAIRE ET INCISION	35
3.4.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	35
3.4.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	36
3.5- PARAMETRE HYDROLOGIE – QUANTITE	38
3.5.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	38
3.5.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	40
3.6- PARAMETRE HYDROLOGIE – DYNAMIQUE	41
3.6.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	41
3.6.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	42
3.7- PARAMETRE HYDROLOGIE – CONNEXION AUX MASSES D'EAU SOUTERRAINE	43
3.7.1- <i>Evaluation selon PRHYMO</i>	43
3.7.2- <i>Evolutions par rapport aux précédents dispositifs</i>	44

3.8-	PARAMETRE CONTINUITE BIOLOGIQUE POUR LES AMPHIHALINS	44
3.8.1-	Evaluation selon PRHYMO	44
3.8.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	46
3.9-	PARAMETRE CONTINUITE BIOLOGIQUE DE PROXIMITE	46
3.9.1-	Evaluation selon PRHYMO	46
3.9.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	47
3.10-	PARAMETRE CONTINUITE LATERALE	48
3.10.1-	Evaluation selon PRHYMO	48
3.10.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	48
3.11-	PARAMETRE CONTINUITE SEDIMENTAIRE	49
3.11.1-	Evaluation selon PRHYMO	49
3.11.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	49
3.12-	PARAMETRE MORPHOLOGIE – STRUCTURE ET SUBSTRAT DU LIT	50
3.12.1-	Evaluation selon PRHYMO	50
3.12.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	51
3.13-	PARAMETRE MORPHOLOGIE – VARIATION DE LA PROFONDEUR ET DE LA LARGEUR DU LIT	52
3.13.1-	Evaluation selon PRHYMO	52
3.13.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	53
3.14-	PARAMETRE MORPHOLOGIE – STRUCTURE DE LA RIVE	53
3.14.1-	Evaluation selon PRHYMO	53
3.14.2-	Evolutions par rapport aux précédents dispositifs	54
4-	CALCULS DES PRESSIONS ET DES PROBABILITES D'ALTERATION	55
4.1-	CALCULS DES PRESSIONS	55
4.1.1-	Les zones tampons	55
4.1.2-	Les unités spatiales d'intégration	56
4.1.3-	Les remous liquides	57
4.1.4-	Les réseaux coulants	57
4.1.5-	Les sous-bassins versants	57
4.2-	CALCULS DES PROBABILITES D'ALTERATION	58
4.2.1-	Les classes de descripteurs	58
4.2.2-	Les tables de distribution de probabilités d'altération	59
4.2.3-	Simplification des résultats	61
4.3-	AGREGATION A L'ECHELLE DU TGH ET DE LA MASSE D'EAU	62
4.3.1-	Méthodes de calcul	62
4.3.2-	Représentativité des résultats à l'échelle de la masse d'eau	62
4.4-	GESTION DES DONNEES MANQUANTES	66
5-	LIMITES ET PISTES D'AMELIORATIONS	67
5.1-	CARACTERE EVOLUTIF DU DISPOSITIF	67
5.2-	QUALITE DES DONNEES D'ENTREE	67
5.3-	RESEAUX HYDROGRAPHIQUES NUMERIQUES	67
5.4-	CONNAISSANCE DES DEBITS NATURELS	68
5.5-	VERS UNE SIMPLIFICATION DES RESULTATS ?	69
	BIBLIOGRAPHIE	71
	ANNEXES	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Structure générale des modèles d'évaluation	8
Figure 2. Les 3 éléments de qualité (à gauche) et 10 paramètres élémentaires (à droite)	8
Figure 3. Exemples de cours d'eau naturellement déconnectés des frontières : a) le ruisseau des Mortes dans le Jura ; b) les affluents du lac du Lauvitel dans les Alpes ; c) le ruisseau de Longevent dans la plaine de l'Ain ; d) le ruisseau de Pallas, affluent de l'étang de Thau.....	11
Figure 4. Comparaison des réseaux disponibles à la Guadeloupe	14
Figure 5. Comparaison des réseaux disponibles à la Martinique.....	16
Figure 6. Comparaison des réseaux disponibles en Guyane.....	19
Figure 7. Comparaison des réseaux disponibles à La Réunion.....	21
Figure 8. Comparaison des réseaux disponibles à La Réunion.....	23
Figure 9. Exemples d'erreurs détectées sur les USRA de SYRAH-CE : a) discontinuité générée par l'absence d'un TGH entier ; b) discontinuité générée par l'absence d'une portion de TGH ; c) discontinuité générée par l'intégration partielle de petites masses d'eau ; d) projection d'un TGH sur un autre cours d'eau	26
Figure 10. Distances aux frontières des blocs jointifs des USRA du SYRAH-CE.....	27
Figure 11. Comparaison des longueurs maximales adimensionnelles des USRA utilisées dans SYRAH-CE, RHUM et PRHYMO (valeurs médianes par rang de Strahler).....	29
Figure 12. Principe de calcul du taux d'aménagements à proximité du lit mineur. Le taux est ici égal à 70% environ.....	31
Figure 13. Aménagement de la Rivière aux Herbes sur la commune de Basse-terre (source : Karinfo.com).....	33
Figure 14. Exemple d'un site réhabilité après exploitation par l'activité légale d'orpaillage (à gauche) et de l'érosion régressive constatée 2 ans après sur le tronçon amont (à droite) (Périer G.)	36
Figure 15. Les principales zones tampons utilisées pour identifier les pressions adjacentes aux cours d'eau (buffer3W, buffer12W, buffer10m et buffer30m).....	56
Figure 16. Illustration d'un « remous liquide » (retenues à l'étiage des ouvrages transversaux)	57
Figure 17. Exemples de sous-bassins versants en Guadeloupe (a) et en Guyane (b)	58
Figure 18. Comparaison des masses d'eau et des réseaux PRHYMO : a) en Martinique où les masses d'eau ne représentent que 6% du réseau PRHYMO ; b) la Ligouze qui n'est couverte qu'à 23% par le réseau PRHYMO ; c) le canal de Lalinde qui est totalement exclu du réseau PRHYMO ; d) le canal de l'UNIMA auquel sont attribuées une partie des USRA des affluents de rive gauche de la Charente	64
Figure 19. Distribution des rapports entre la longueur cumulée des USRA associées à une masse d'eau (attribut <i>l_usra_me</i>) et la longueur de la masse d'eau (attribut <i>longueur</i>)	65
Figure 20. Schéma de détermination du niveau global de pression sur l'hydromorphologie en fonction des probabilités d'altération des éléments de qualité (extrait du Groupe de travail national Hydromorphologie du 8 juin 2012)	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Distances aux frontières des blocs jointifs des USRA du SYRAH-CE	27
Tableau 2. Caractéristiques dimensionnelles des réseaux PRHYMO	29
Tableau 3. Table des distributions de probabilités du nœud <i>Pression sur les débits moyens</i>	60
Tableau 4. Table des distributions de probabilités du paramètre élémentaire <i>Morphologie – Structure de la rive</i>	60
Tableau 5. Table des distributions de probabilités du nœud <i>Déficit sédimentaire</i>	61
Tableau 6. Table des distributions de probabilités du nœud <i>Rectification</i>	61
Tableau 7. Exemples d'équiprobabilité ou de quasi équiprobabilité.....	63
Tableau 8. Coefficients attribués aux paramètres élémentaires pour l'évaluation des éléments de qualité (EQ)	69

1- Introduction

1.1- Contexte et objectifs

Le *SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau* (SYRAH-CE) et le *Référentiel Hydromorphologique UltraMarin* (RHUM) étaient deux dispositifs d'aide à la décision s'inscrivant dans la politique d'atteinte du bon état écologique des masses d'eau continentales voulue par la Directive-cadre européenne sur l'eau (DCE). SYRAH-CE concernait l'Hexagone tandis que RHUM était son pendant dédié aux Outre-mer. Ils avaient été développés pour établir l'état des lieux (EDL) des pressions hydromorphologiques s'exerçant sur l'état écologique des cours d'eau français qui doit être rapporté à l'Union européenne tous les 6 ans, et pour appuyer les Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et leurs Programmes de mesures (PDM) relevant des comités de bassin.

Le Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT) s'est fait le relai des Secrétariats techniques de bassin (STB) pour demander à l'Office français de la biodiversité (OFB) l'évaluation du périmètre et la prise en charge d'une refonte de ces dispositifs en vue des prochaines échéances liées à la DCE. Il s'agissait d'actualiser les dernières évaluations, de les harmoniser à l'échelle nationale et de les optimiser en tenant compte de l'évolution des connaissances et des données disponibles. Cela a abouti en 2024 à un nouveau dispositif nommé *PRHYMO* pour *Plateforme Pressions et Risques d'impacts HYdroMOrphologiques*.

PRHYMO s'inscrit donc comme le successeur pérenne et standardisé de SYRAH-CE et RHUM, car adapté à l'Hexagone et aux 5 départements et régions d'Outre-mer (Guadeloupe, Guyane, La Réunion, Martinique et Mayotte). Il évalue les gradients de pressions d'origine anthropique s'exerçant sur les cours d'eau et les risques d'altérations hydromorphologiques qui en découlent. L'hydromorphologie des cours d'eau s'entend ici au sens de la DCE c'est à dire qu'elle se décline en 3 éléments de qualité : hydrologie, morphologie et continuité.

1.2- Principe général des évaluations

L'identification des pressions s'appuie sur diverses données géographiques, en privilégiant les banques de données nationales. Les traitements géomatiques permettent également de tenir compte des principaux contrôles naturels et, dans une moindre mesure, de certains descripteurs d'état quand ils sont disponibles à grande échelle.

Le degré d'altération des cours d'eau est évalué selon une approche statistique inspirée des modèles bayésiens : les relations entre pressions et altération sont représentées par un arbre décisionnel inversé (plusieurs entrées, une sortie ; **figure 1**) ; une combinaison de pressions donnée n'aboutit pas, ou rarement, à un degré d'altération unique (ex. : faible, moyen, fort) mais à une distribution de probabilités (ex. : 20% de chances que l'altération soit faible, 50% de risques que l'altération soit moyenne, 30% de risques que l'altération soit forte). En revanche, les calculs n'intègrent pas de données d'apprentissage comme les approches de type *Machine learning*. Ils reposent uniquement sur la connaissance a priori (i.e. à dire d'expert) des altérations susceptibles d'être engendrées compte tenu de la nature et de l'intensité des pressions.

Tous les calculs sont entièrement automatisés, basés sur des logiciels libres et transparents (PostGIS, PostgreSQL, R). Les spécifications techniques, éditées à part, décrivent les étapes à suivre pour prendre en main la base de données et relancer les calculs.

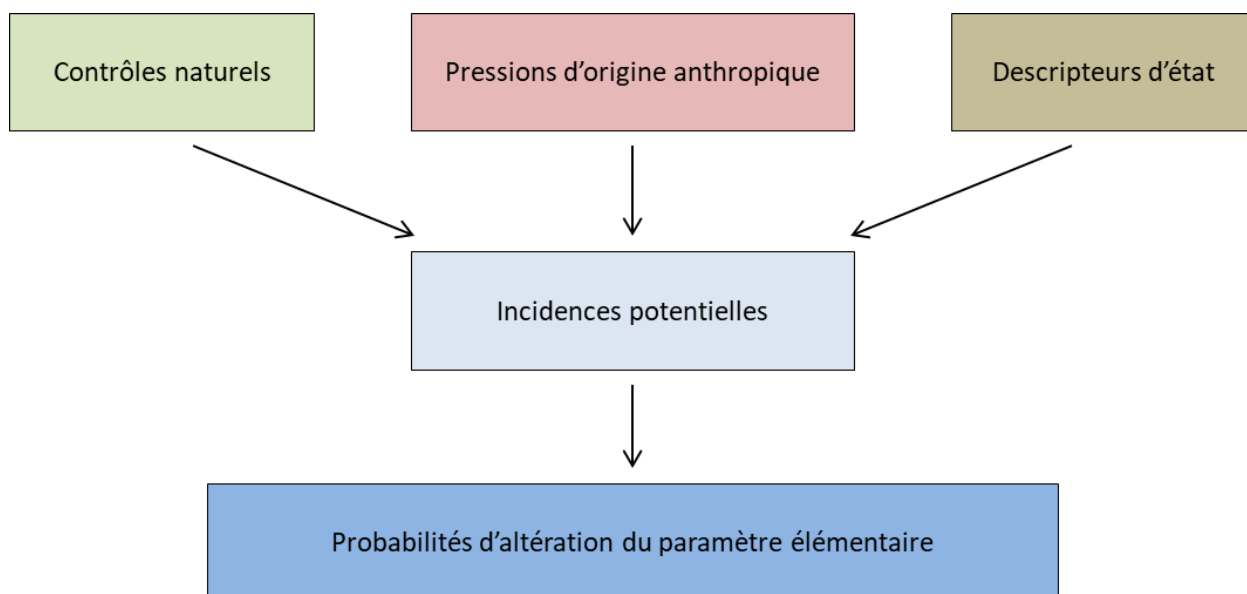


Figure 1. Structure générale des modèles d'évaluation

1.3- Éléments de qualité et paramètres élémentaires

Les critères d'évaluation de l'état des masses d'eau sont définis par la DCE. L'annexe 5 de la DCE précise que l'hydromorphologie doit être évaluée au regard de 3 éléments de qualité : hydrologie, morphologie, continuité. A l'échelle nationale, ces éléments de qualité sont déclinés en 10 paramètres élémentaires (figure 2).

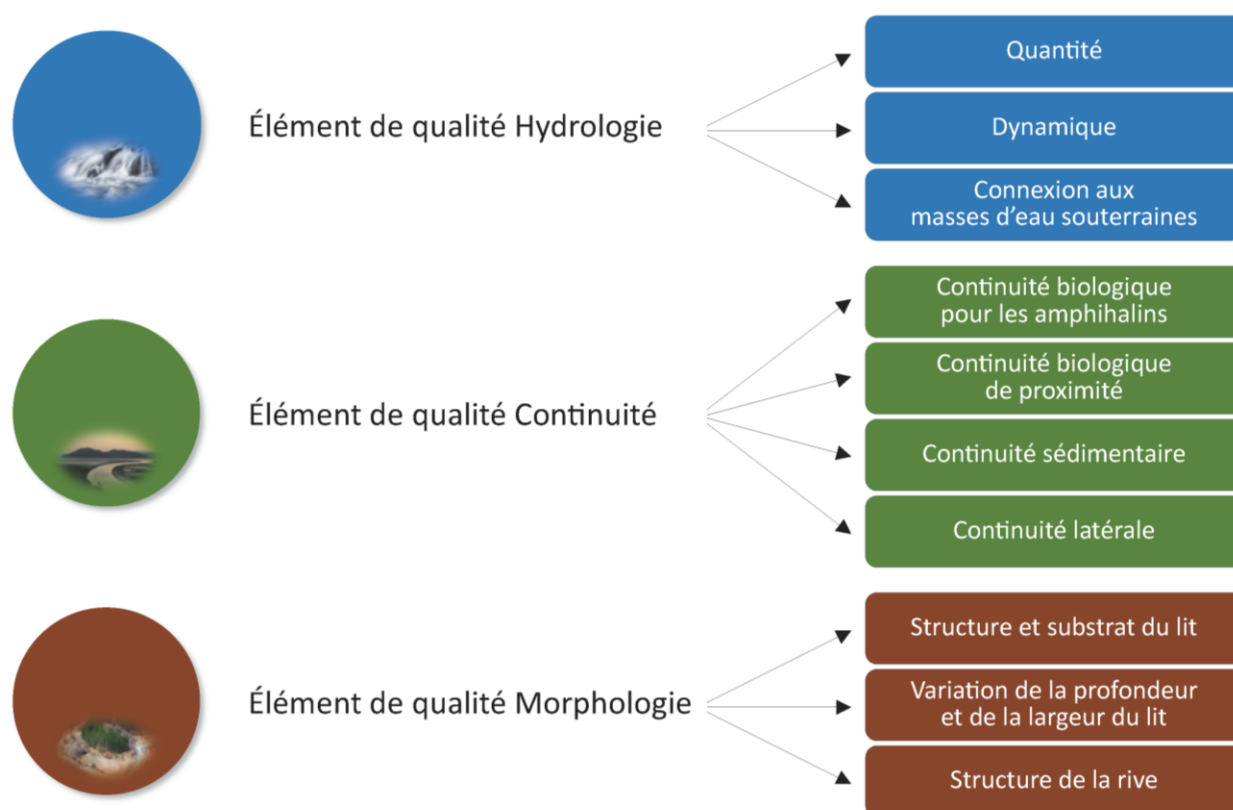


Figure 2. Les 3 éléments de qualité (à gauche) et 10 paramètres élémentaires (à droite)

1.4- Contenu du rapport

Ce rapport méthodologique décrit les méthodes utilisées pour évaluer les pressions et les risques d'altération. Après cette brève introduction, le plan est le suivant :

- Le chapitre 2 porte sur les réseaux hydrographiques numériques utilisés comme supports de l'évaluation.
- Le chapitre 3 porte sur la structure des modèles d'évaluation. Il décrit l'ensemble des descripteurs pris en compte et les évolutions par rapport aux précédents dispositifs.
- Le chapitre 4 présente quelques éléments méthodologiques complémentaires relatifs aux calculs des pressions et des probabilités d'altération, notamment sur l'articulation entre les traitements géomatiques et statistiques.
- Le chapitre 5 propose quelques pistes pour optimiser PRHYMO compte tenu de ses limites actuelles.

Quelques éléments ont enfin été versés en annexes. L'annexe 1 présente notamment les modèles d'évaluation sous une forme graphique (arbres bayésiens), ce qui permet d'appréhender rapidement la structure des différents modèles.

2- Révision des réseaux hydrographiques

La qualité de l'évaluation des pressions et des risques d'altération hydromorphologiques repose en partie sur la représentativité des réseaux hydrographiques numériques. Ce chapitre présente le travail préliminaire d'évaluation, de sélection et de correction des réseaux numériques préexistants qui a abouti aux réseaux PRHYMO.

2.1- Propriétés générales des réseaux hydrographiques numériques

Un réseau hydrographique numérique représente plus ou moins fidèlement le réseau hydrographique réel. Cette section présente les diverses propriétés d'un réseau hydrographique numérique qui sont autant de critères pris en compte pour sélectionner les réseaux disponibles puis pour les améliorer. On peut distinguer les propriétés géométriques et les données attributaires.

D'un point de vue géométrique, les critères sont les suivants :

- Conformité de la structure du réseau hydrographique : la structure du réseau doit respecter les confluences et les limites de partage des eaux (bassins versants).
- Continuité géométrique du réseau : les nœuds des tronçons successifs d'un même cours d'eau doivent se superposer exactement pour obtenir un réseau jointif, sans discontinuité ni chevauchement, jusqu'aux frontières nationales qui correspondent généralement aux mers et océans. Il existe néanmoins quelques exceptions naturelles (**figure 3**).
- Orientation des écoulements : les tronçons doivent tous être orientés dans le même sens par rapport aux écoulements (de l'amont vers l'aval ou l'inverse).
- Chaînage amont-aval : le chaînage amont-aval consiste à identifier, en chaque point du réseau, tous les tronçons amont ou aval. Cela n'est possible que si les 2 dernières conditions sont respectées (continuité et orientation). Et cela est plus facile lorsque le réseau est simplifié en éliminant les bras secondaires pour ne conserver qu'un seul bras (si possible le bras principal) par tronçon de cours d'eau (ex. : zones de tressage).
- Précision planimétrique : le tracé en plan du réseau doit être le plus proche possible de la position réelle des cours d'eau pour mieux identifier les pressions et contraintes riveraines (ex. : digues). En revanche, il n'est pas nécessaire et rarement judicieux de rendre compte de l'ensemble des chenaux de basses eaux et de leur position exacte.
- Densité du réseau hydrographique : la densité de drainage doit être homogène au sein de chaque région géologiquement et hydrologiquement homogène. Les différences naturelles de densités de drainage entre ces régions, par exemple entre les zones karstiques et les roches cristallines imperméables, doivent également être respectées. La densité de drainage doit encore être raisonnable, c'est-à-dire suffisamment dense pour intégrer les principaux cours d'eau de tête de bassin mais pas l'ensemble des talwegs qui ne concentrent les écoulements que lors de violents orages. Ce dernier point est motivé par des considérations à la fois fondamentales (ce ne sont pas des cours d'eau) et pratiques (difficulté des traitements).

En ce qui concerne les données attributaires, les critères de qualification généralement admis sont l'exactitude, l'exhaustivité, la précision et la fraîcheur (récence et/ou fréquence d'actualisation). Mais le principal critère pour PRHYMO est la disponibilité de certaines informations particulièrement utiles voire indispensables :

- Les caractéristiques hydromorphologiques des tronçons (ex. : rang, pente, nature du fond de vallée) sont nécessaires pour renseigner leur sensibilité à certaines altérations.
- Les identifiants masse d'eau sont nécessaires au rapportage DCE.
- D'autres données attributaires préexistantes peuvent être utiles mais ne sont pas indispensables. Il s'agit par exemple des attributs permettant de qualifier une pression (ex. : navigabilité du tronçon), de simplifier le réseau (ex. : distinction entre bras principal et bras secondaires) ou d'exclure les tronçons totalement artificiels (ex. : canal du Midi).

Au regard de l'ensemble de ces critères, nous pouvons déjà conclure que la réutilisation des réseaux RHUM et SYRAH-CE est à privilégier car ils renseignent les premières informations listées ci-avant. Mais on peut éventuellement projeter les attributs RHUM et SYRAH-CE sur d'autres réseaux si leurs géométries sont proches. Quel que soit le réseau retenu, il faut également s'assurer que ses propriétés géométriques sont satisfaisantes, en particulier sa structure et sa continuité.

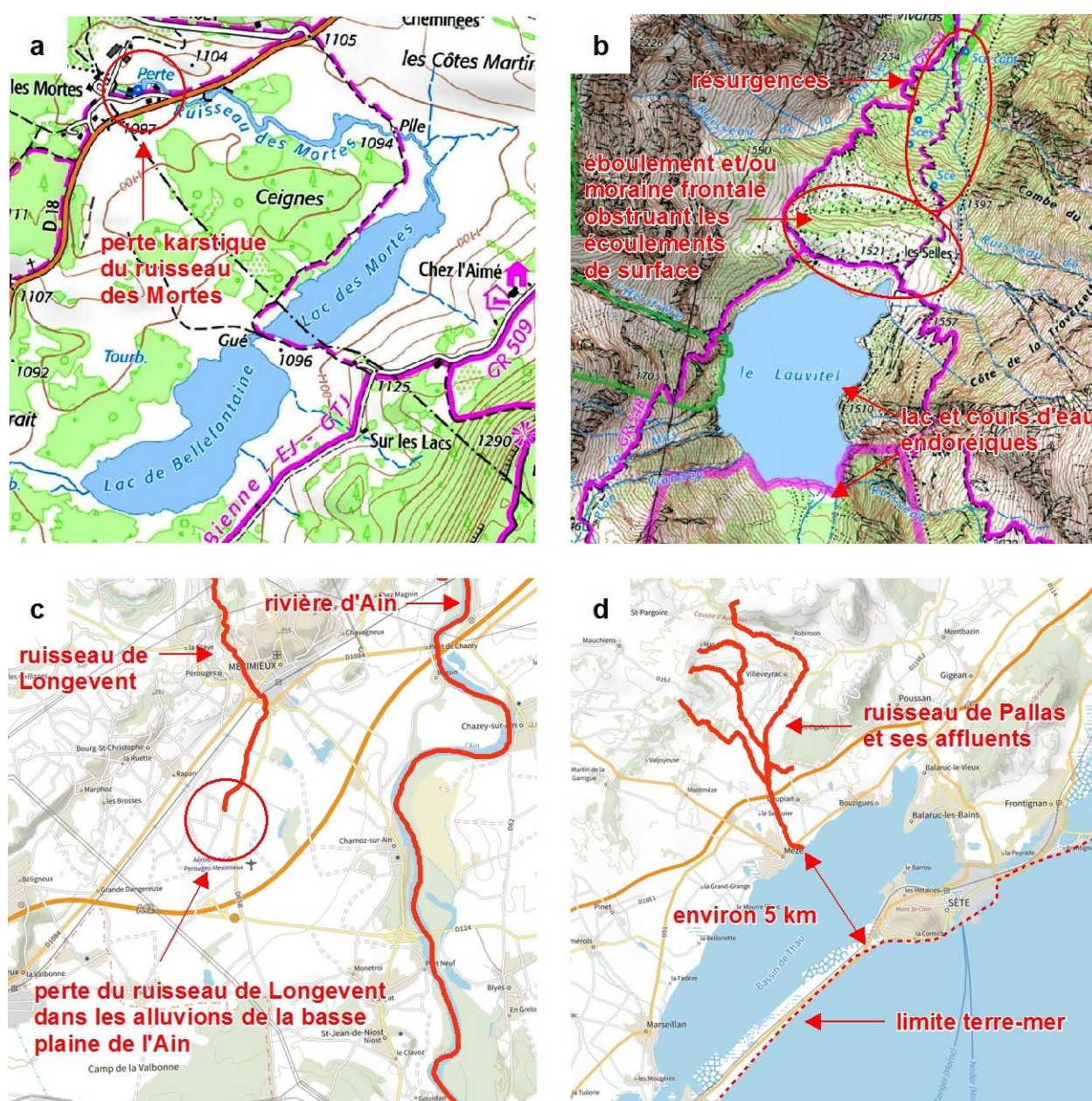


Figure 3. Exemples de cours d'eau naturellement déconnectés des frontières : a) le ruisseau des Morts dans le Jura ; b) les affluents du lac du Lauvitel dans les Alpes ; c) le ruisseau de Longevent dans la plaine de l'Ain ; d) le ruisseau de Pallas, affluent de l'étang de Thau

2.2- Echelles d'analyse

Sur chaque territoire (Hexagone et 5 DROM), le réseau hydrographique PRHYMO est structuré autour de deux échelles spatiales :

- Les tronçons géomorphologiquement homogènes (TGH) : il s'agit des tronçons homogènes du point de vue des variables de contrôle hydromorphologique (ou de géomorphologie fluviale) naturelles telles que les confluences majeures, la taille des cours d'eau, le type de fond de vallée, etc. La délimitation et la caractérisation des TGH proviennent essentiellement de RHUM et SYRAH-CE, à de rares exceptions près (§ 2.3).
- Les unités spatiales de recueil et d'analyse (USRA) : il s'agit de l'échelle initiale de calcul des pressions et des risques d'altération. Chaque TGH est découpé en plusieurs USRA de longueur identique, dont le nombre dépend de sa longueur et de son rang de Strahler (annexe 2). De manière générale, la longueur des USRA est de l'ordre de 100 fois la largeur théorique à pleins bords (W) des TGH. Dans le pire des cas, la longueur des USRA composant un même groupe de TGH (même rang, même hydro-écorégion) peut varier du simple au double (ex : si la longueur maximale d'une USRA est de 1 km, un TGH de 999 m sera composé d'une seule USRA alors qu'un TGH de 1002 m sera composé de 2 USRA de 501 m). Les USRA permettent ainsi d'améliorer à la fois la résolution spatiale et l'homogénéité des résultats. En effet, les TGH sont parfois très longs et ne sont pas nécessairement homogènes du point de vue des pressions anthropiques. Les USRA permettent ainsi de tenir compte de pressions qui seraient négligées à l'échelle du TGH (ex : une contrainte latérale s'exerçant sur un linéaire de 100 m serait considérée comme une pression mineure sur un TGH de 2 km alors qu'elle est considérée comme une pression majeure sur une USRA de 200 m) et de rendre compte de la variabilité des pressions au sein d'un même TGH (ex : absence de contrainte latérale sur les autres USRA).

Les pressions ne sont évaluées qu'à l'échelle de l'USRA. Les probabilités (risques) d'altération résultant de ces pressions sont d'abord calculées à l'échelle de l'USRA puis, par agrégation (cf. § 4.3), à l'échelle du TGH et de la masse d'eau cours d'eau. Cette dernière correspond à l'échelle de rapportage DCE.

Il y a donc finalement 3 échelles d'analyse des probabilités d'altérations hydromorphologiques. Mais les masses d'eau n'ont pas été produites dans le cadre de PRHYMO : elles ont été définies et transmises par les Agences de l'eau, Offices de l'eau et DREAL qui nous ont accompagnés dans ce projet. Les masses d'eau exploitées par cette première version de PRHYMO correspondent généralement aux versions utilisées pour l'état des lieux 2019. Des corrections mineures ont toutefois été apportées à La Réunion, en Rhône-Méditerranée-Corse et en Seine-Normandie.

2.3- Evaluation et révision des réseaux

2.3.1- Guadeloupe

a) Réseaux disponibles

Au démarrage de l'étude, les tronçons hydrographiques de la BD Carthage de Guadeloupe n'étaient déjà plus diffusés par le Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (SANDRE). Par conséquent, seuls 2 réseaux étaient disponibles sur ce DROM :

- le RHUM : 4 813 TGH et 10 007 USRA représentant 3 559 km ;
- la BD Topo : 12 727 tronçons hydrographiques et 3 957 km (tous types confondus).

Précisons que les 47 masses d'eau cours d'eau version EDL 2019 ne représentent que 361 km soit 10% des tronçons RHUM et 9% des tronçons BD Topo. Toutes se situent sur Basse Terre.

b) Evaluation des réseaux

Les 2 réseaux disponibles sont correctement orientés (de l'amont vers l'aval).

En règle générale, la géométrie de la BD Topo est plus proche de l'emprise réelle des cours d'eau (**figure 4a**) et plus dense car elle intègre de nombreuses petites ravines (**figure 4b**). Toutefois, elle est par endroits totalement incohérente avec le fond de vallée (**figure 4c**) ou avec les lignes de partage des eaux (**figure 4d**). Sur Grande-Terre, de grandes zones sont totalement dépourvues de tronçons (**figure 4e**), ce qui se traduit par une densité de drainage extrêmement hétérogène et de nombreuses discontinuités (tronçons déconnectés du réseau hydrographique aval quand celui-ci n'est pas pris en compte). Exceptionnellement, elle peut également être moins dense que le réseau RHUM à Basse-Terre (**figure 4f**).

Le réseau RHUM repose sur la géométrie de la BD Carthage car il a été construit à partir de cette dernière en excluant les canaux artificiels. Outre le fait qu'il renseigne déjà la sectorisation hydromorphologique, sa géométrie est finalement beaucoup plus opérationnelle que celle de la BD Topo :

- le tracé en plan des cours d'eau atteint rarement la précision de la BD Topo mais ne présente aucune aberration majeure ;
- la densité du réseau est à peu près homogène et plus représentative de la densité de drainage effective du territoire (plus dense au centre de Basse-Terre où le relief est plus marqué, ce qui se traduit naturellement par la présence de nombreuses ravines) ;
- la continuité longitudinale du réseau est intégrale (100% des cours d'eau aboutissent à la mer ou du moins aux eaux de transition).

En termes d'exhaustivité, le linéaire RHUM représente 90% des tronçons de la BD Topo hors aqueducs et conduits busés. La différence provient principalement de l'absence de nombreuses petites ravines. Dans une moindre mesure, cela s'explique également par la moindre sinuosité des tronçons RHUM (qui diminue la longueur totale du réseau) et par l'exclusion volontaire, et pertinente, des réseaux d'irrigation. La table attributaire de la BD Topo est d'ailleurs assez mal renseignée : de nombreux canaux ne sont pas différenciés des cours d'eau naturels (ex. : canal Lepelletier).

En définitive, les défauts de la BD Topo sont rédhibitoires pour ce territoire.

c) Construction du réseau PRHYMO

Le réseau PRHYMO de la Guadeloupe a donc été construit à partir du réseau RHUM en apportant quelques corrections mineures à ce dernier.

Nous avons corrigé les rangs de Strahler qui présentaient des erreurs ou incohérences. Cela a parfois nécessité de redéfinir les limites des TGH ainsi que la largeur théorique du lit mineur (qui est fonction du rang de Strahler). Dans de rares cas, le changement de rang entraîne également une modification du type de cours d'eau pour respecter la typologie RHUM au regard des nouvelles valeurs du tronçon. Les nouveaux TGH ainsi créés sont repérables par leur identifiant (`tgh_id` ≥ 5 000).

Les USRA et leurs sous-bassins versants ont été modifiés en conséquence. Par ailleurs, nous avons redéfini certains sous-bassins de manière à en obtenir un par USRA (à l'exception des îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy, 100% des USRA ont un sous-bassin versant propre).

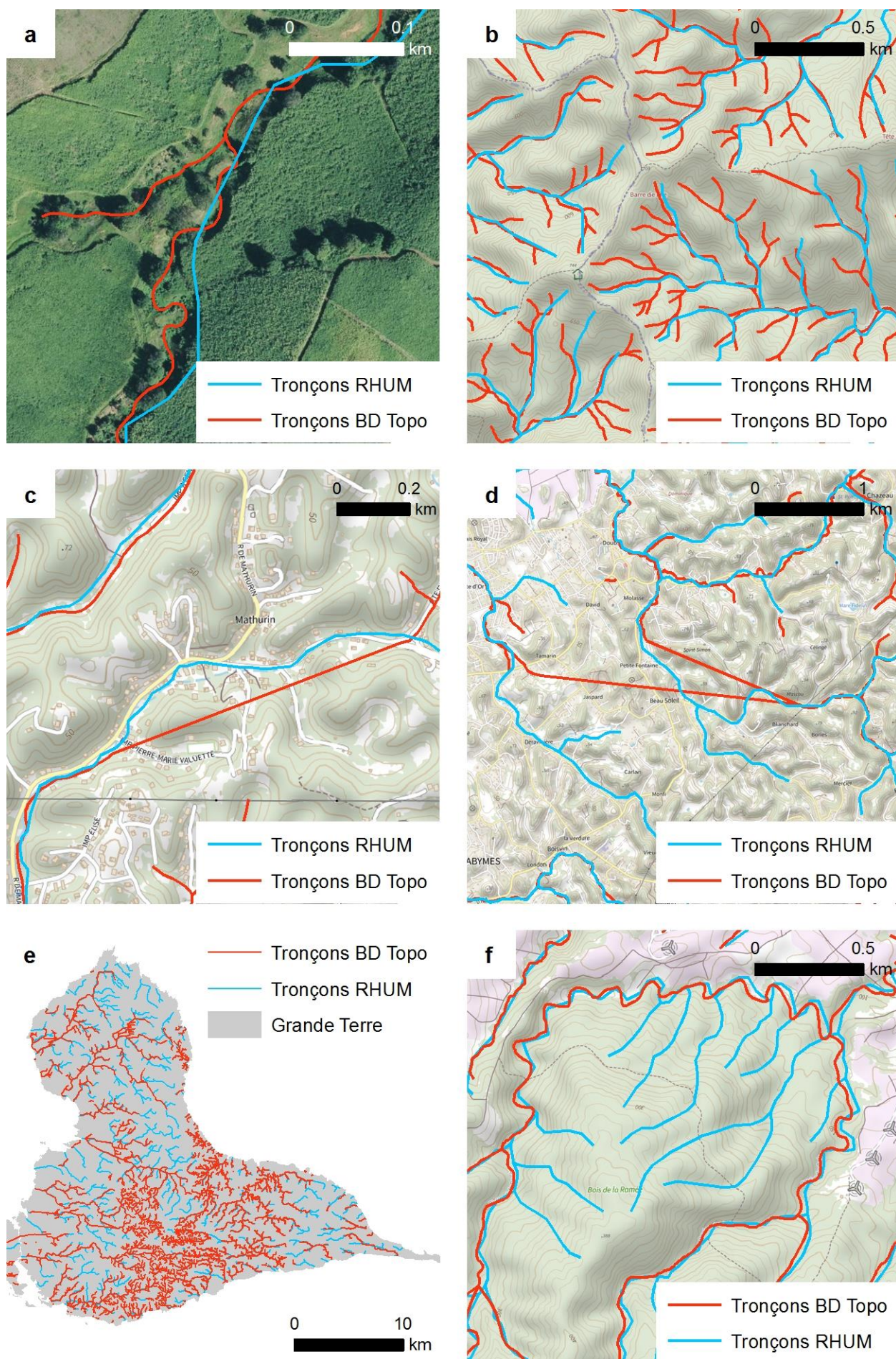


Figure 4. Comparaison des réseaux disponibles à la Guadeloupe

2.3.2- Martinique

a) Réseaux disponibles

Sur ce territoire, 3 réseaux sont disponibles :

- le RHUM : 10 052 TGH et 18 574 USRA représentant 4 101 km ;
- la BD Carthage : 10 335 tronçons hydrographiques et 3 031 km (tous types confondus) ;
- la BD Topo : 14 916 tronçons hydrographiques et 4 151 km (tous types confondus).

Précisons que les 20 masses d'eau cours d'eau version EDL 2019 ne représentent que 246 km soit 6% des tronçons RHUM et BD Topo (figure 5a).

b) Evaluation des réseaux

Les 3 réseaux disponibles sont correctement orientés (de l'amont vers l'aval).

Le réseau RHUM a été construit à partir des tronçons de la BD Carthage en excluant les canaux artificiels. Mais la BD Carthage a depuis évolué et les tronçons de la version actuelle (diffusée par l'Observatoire de l'eau de la Martinique) ne représentent plus que 73% de la longueur du réseau RHUM car nombreux petits cours d'eau ont été exclus.

Si l'on ne tient pas compte des tronçons artificiels de la BD Topo, cette dernière couvre un linéaire de longueur semblable à celui du réseau RHUM. Les tracés en plan de ces 2 réseaux sont également très proches : 98% du réseau RHUM se situe à moins de 50 m des tronçons de la BD Topo et 96% à moins de 10 m. En fait, leurs tracés en plan sont généralement identiques sur les portions de réseaux qu'ils ont en commun mais certaines ravines ou extrémités amont de cours d'eau sont intégrées à RHUM et pas à la BD Topo, ou l'inverse (figure 5b).

En termes de continuité, la BD Topo est imparfaite mais meilleure que le réseau RHUM. Nous avons effectivement détecté 174 discontinuités dans ce dernier. Quelques-unes semblent naturelles (cours d'eau endoréiques), d'autres concernent des tronçons qui mériteraient d'être exclus du réseau (fossés de drainage et canaux d'irrigation, bras secondaires déconnectés du bras principal ; figures 5c et 5e), mais la plupart sont injustifiées.

En conclusion, aucun réseau n'est satisfaisant sur ce territoire. La meilleure solution est de corriger et optimiser le réseau RHUM, qui a l'avantage d'être déjà sectorisé, de 3 façons :

- en rétablissant la continuité longitudinale, ce qui suppose parfois de réintégrer des tronçons artificiels reliant les cours d'eau entre eux ou avec la mer (figure 5d) ;
- en supprimant les tronçons qui ne sont pas représentatifs du réseau hydrographique naturel dès lors qu'ils ne permettent pas la continuité du réseau naturel (ex. : fossés de drainage et canaux d'irrigation ; figure 5e) ;
- en supprimant les ravines les plus courtes. Il y a effectivement 429 tronçons de rang 0 de moins de 100 m, le plus court ne mesurant que 16 m.

NB : certains tronçons sont déconnectés des cours d'eau aval ou de la mer dans tous les réseaux disponibles et aucune liaison n'est visible sur photographie aérienne. Il pourrait s'agir de cours d'eau endoréiques ou de tronçons connectés par une conduite souterraine voire de faux cours d'eau (lorsque le tronçon déconnecté est lui-même physiquement absent d'après les photographies aériennes). Dans tous les cas, nous ne pouvons pas les reconnecter.

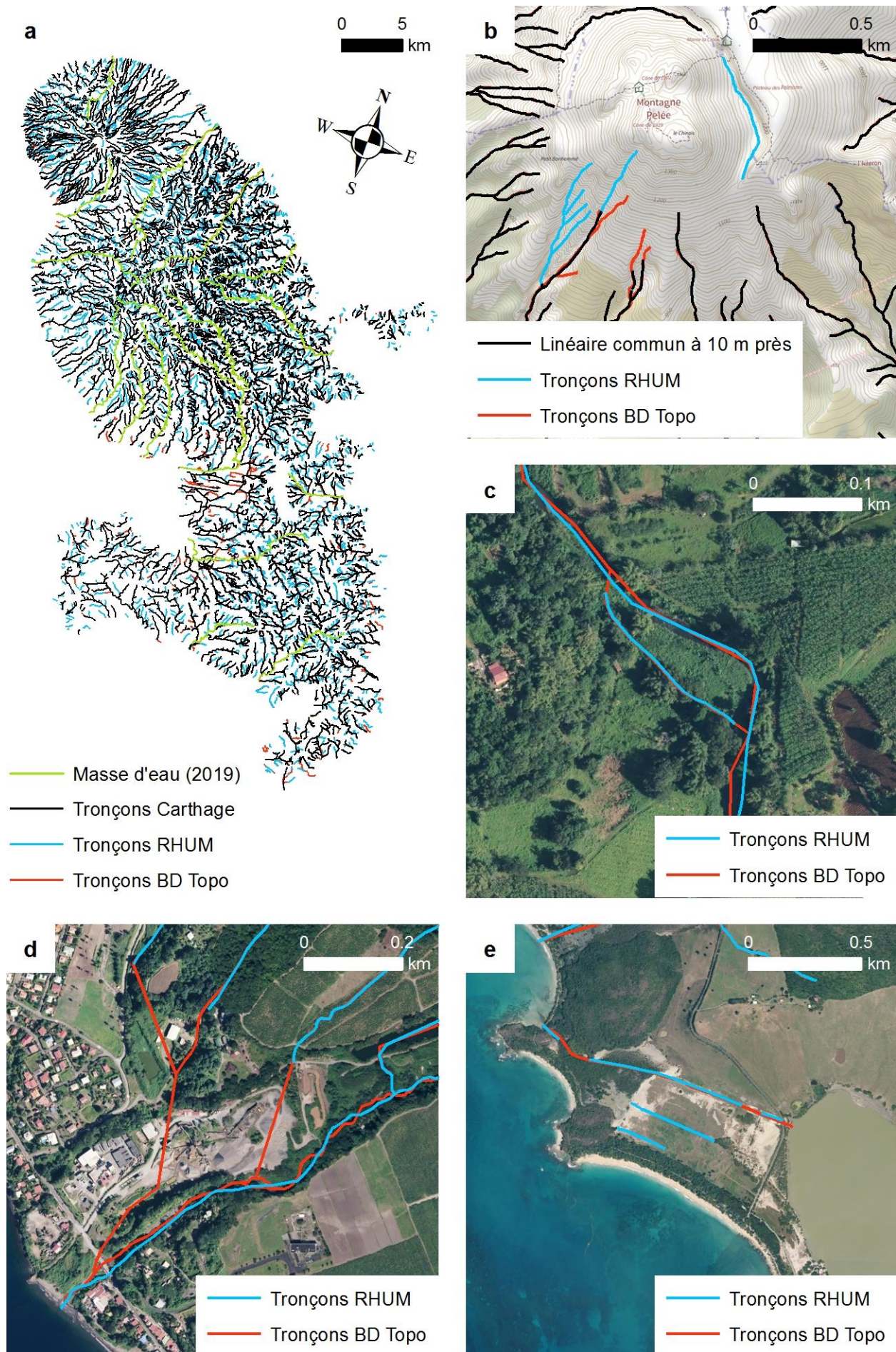


Figure 5. Comparaison des réseaux disponibles à la Martinique

c) Construction du réseau PRHYMO

Le réseau PRHYMO de la Martinique a été construit à partir du réseau RHUM en apportant un nombre significatif de corrections, davantage que sur les autres réseaux ultramarins.

Nous avons surtout rétabli la continuité longitudinale du réseau et sa connexion avec la mer.

Nous avons également supprimé un certain nombre de tronçons peu pertinents :

- les drains artificiels ;
- les bras secondaires des grands cours d'eau ;
- les plus petits cours d'eau qui densifiaient excessivement le réseau (longueur < 100 m) ;
- les tronçons dont l'extrémité amont se situait au-delà de la limite terre-mer (15 tronçons).

Nous avons enfin corrigé les rangs de Strahler.

Ces corrections ont nécessité de créer de nouveaux TGH, d'en supprimer certains et d'en redécouper d'autres. Dans certains cas, elles ont également entraîné une modification du type de cours d'eau pour respecter la typologie RHUM au regard des nouvelles valeurs du tronçon. Les nouveaux TGH ainsi créés, qu'ils soient totalement nouveaux ou issus du redécoupage des tronçons existants, sont repérables par leur identifiant (tgh_id ≥ 20 000).

Les USRA et leurs sous-bassins versants ont été modifiés en conséquence. Précisons que 99,9% des USRA sont désormais associées à un sous-bassin. Les sous-bassins manquants correspondent soit à des TGH très courts (entre 2 changements de rang très rapprochés qui obligent à différencier un TGH et dont il est difficile, et peu utile, de délimiter le sous-bassin) soit à des USRA littorales où l'absence de relief empêche la délimitation des sous-bassins.

2.3.3- Guyane

a) Réseaux disponibles

Sur ce territoire, 3 réseaux sont disponibles :

- le RHUM : 89 948 TGH et 189 172 USRA représentant 109 991 km ;
- la BD Carthage : 189 172 tronçons hydrographiques et 182 537 km (tous types confondus) ;
- la BD Topo : 212 165 tronçons hydrographiques et 126 106 km (tous types confondus).

Précisons que les 851 masses d'eau cours d'eau version EDL 2019 ne représentent que 19 797 km soit 18% des tronçons RHUM et 16% des tronçons BD Topo.

b) Evaluation des réseaux

Les 3 réseaux disponibles sont correctement orientés (de l'amont vers l'aval).

Le réseau de la BD Carthage est plus vaste que les autres car il intègre des cours d'eau surinamais et brésiliens qui correspondent respectivement aux affluents de rive gauche du Maroni et aux affluents de rive droite de l'Oyapock ([figure 6a](#)). Il est donc hydrographiquement plus cohérent (logique bassin). Il est également très propre topologiquement parce que les tronçons sont connectés entre eux et que les bras secondaires sont renseignés de manière à pouvoir être exclus sans rompre la continuité du réseau : les bras secondaires ont par défaut un rang de Strahler égal à 0 ; mais si un affluent aboutit dans un bras secondaire, ce dernier prend la valeur de rang de l'affluent. Cette règle est très utile et semble bien respectée, sauf dans 3 cas (voir plus bas), ce qui est un moindre mal compte tenu de la taille du réseau.

Le réseau RHUM repose sur la géométrie de la BD Carthage de laquelle ont été exclus les canaux artificiels, les bras secondaires et les cours d'eau situés en dehors du territoire français. Quelques erreurs ont cependant été commises à l'extrémité sud-ouest du territoire : une petite partie des rivières Alitani et Koulé-Koulé, qui marquent la frontière avec le Suriname, ont été exclues par erreur alors que 7 sous-affluents de rive gauche de cette dernière ont été intégrés. On dénombre 28 discontinuités dans le réseau RHUM qui proviennent intégralement de sa méthode de construction :

- 20 affluents ou sous-affluents sont déconnectés du réseau hydrographique aval suite à l'exclusion des 2 rivières frontières à l'extrémité sud-ouest du territoire ;
- 3 cours d'eau sont déconnectés du réseau hydrographique aval car ils aboutissent dans un bras secondaire dont le rang de Strahler était mal renseigné dans la BD Carthage (ils auraient dû prendre la valeur de rang de leur affluent) ;
- sur la frange littorale, 5 cours d'eau sont déconnectés de la mer car ils aboutissent dans un canal (canal de Beauregard et canal de la Crique ; **figure 6d**).

La BD Topo couvre uniquement le territoire français avec 2 niveaux de densité et de précision distincts selon sa proximité au littoral. Par conséquent, les différences géométriques avec les réseaux précédents varient selon la zone considérée :

- Dans la partie sud du territoire (en vert sur les **figures 6a et 6b**), il y a parfois quelques différences mineures de tracé sur les cours d'eau principaux mais les 3 réseaux sont généralement identiques ;
- Dans la partie nord du territoire (en jaune sur les **figures 6a et 6b**), la BD Topo est globalement plus précise et plus dense car elle comporte davantage de petits drains élémentaires ainsi que nombreux bras secondaires des cours d'eau principaux.

A l'exception de quelques petits drains de tête de bassin déconnectés du réseau hydrographique principal, les tronçons de la BD Topo sont bien connectés entre eux. Mais les nombreux bras secondaires sont très problématiques pour déterminer le chaînage amont-aval du réseau (**figure 6c**).

En conclusion, si la BD Topo est planimétriquement meilleure que les autres réseaux sur une partie du territoire (environ un tiers), elle est aussi très hétérogène et difficilement exploitable dans le cadre de PRHYMO (difficulté à exclure les canaux artificiels et à déterminer le chaînage amont-aval). Nous avons donc préféré le réseau RHUM qui méritait cependant des corrections.

c) Construction du réseau PRHYMO

Le réseau PRHYMO de la Guyane a donc été construit à partir du réseau RHUM en apportant quelques corrections à ce dernier.

Nous avons rétabli la cohérence du réseau avec le territoire français en réintégrant les portions manquantes des rivières Alitani et Koulé-Koulé à la frontière avec le Suriname et en supprimant quelques cours d'eau surinamais initialement présents (affluents de rive gauche des rivières Alitani et Koulé-Koulé).

Nous avons rétabli la continuité longitudinale du réseau hydrographique et sa connexion avec la mer en réintégrant quelques tronçons manquants : 3 bras secondaires qui assurent la connexion entre affluents et cours d'eau principal ; 3 canaux qui connectent quelques petits cours d'eau à la mer (canal de la Crique Fouillée, canal Beauregard et canal Nord-Sud).

Nous avons supprimé 2 bras secondaires. Nous avons également supprimé ou rogné certains cours d'eau à proximité du littoral car le réseau RHUM s'étendait souvent bien au-delà de la limite terre-mer (notée LTM sur la **figure 6**), certains débutant même au-delà des plus basses eaux (**figures 6e et 6f**).

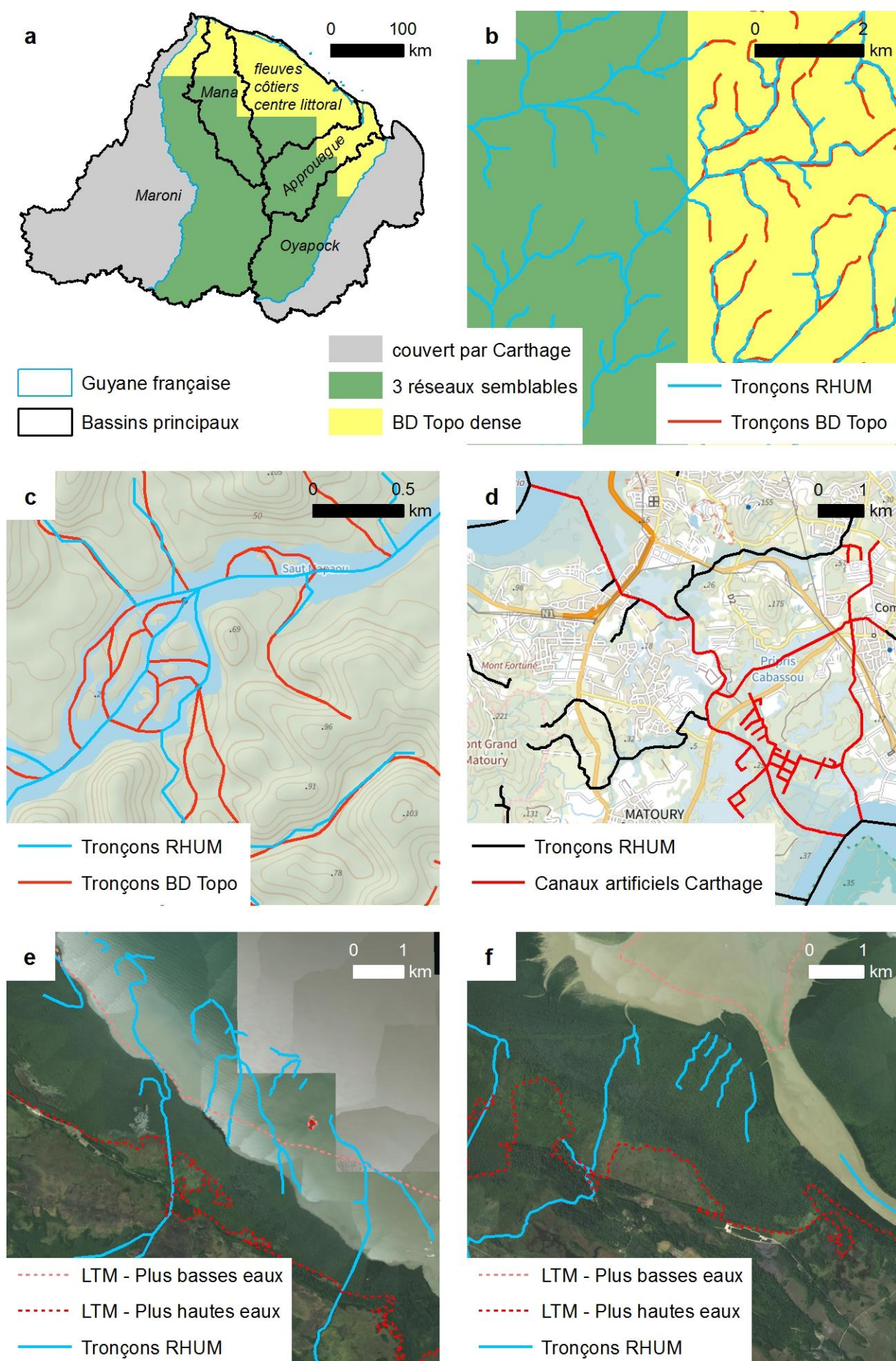


Figure 6. Comparaison des réseaux disponibles en Guyane

Ces diverses corrections ont nécessité de modifier l'emprise de certains TGH. Les nouveaux TGH ainsi créés sont repérables par leur identifiant ($tgh_id \geq 90\,000$). Les USRA et leurs sous-bassins versants ont été modifiés en conséquence.

Rappelons que RHUM n'avait identifié que les sous-bassins versants des USRA de rang ≥ 3 . C'est toujours le cas dans PRHYMO mais nous en avons modifié ou redéfini un grand nombre compte tenu des erreurs préexistantes. Nous avons notamment redécoupé ceux qui contenaient plusieurs USRA. Sur le littoral, où l'absence de relief rend la tâche difficile voire impossible, nous avons retracé sinon supprimé ceux dont le tracé était aberrant. Au final, il y a désormais 275 sous-bassins de plus que dans RHUM si bien que, en dehors du littoral, toutes les USRA de rang ≥ 3 ont un (et un seul) sous-bassin versant.

2.3.4- La Réunion

a) Réseaux disponibles

Sur ce territoire, 3 réseaux sont disponibles :

- le RHUM : 1 609 TGH et 5065 USRA représentant 3 543 km ;
- la BD Carthage : 2 479 tronçons hydrographiques et 3 587 km (tous types confondus) ;
- la BD Topo : 33 436 tronçons hydrographiques et 10 604 km (tous types confondus).

Les 24 masses d'eau cours d'eau version EDL 2019 ne représentent que 564 km soit 5% des tronçons de la BD Topo et 16% des tronçons RHUM ou Carthage ([figure 7a](#)).

b) Evaluation des réseaux

Tous les réseaux sont correctement orientés (de l'amont vers l'aval).

Le réseau RHUM a été construit à partir de la BD Carthage en excluant les aqueducs et canaux ainsi que 3 bras secondaires : la ravine Ducléandre, le Bras Tabac et le Bras Castor (ce dernier est plutôt un chenal de crue du Bras Canot car il n'est alimenté que pour une crue décennale ; source : DEAL Réunion 2014).

La BD Topo représente un linéaire total 3 fois plus long que les réseaux précédents car elle intègre un très grand nombre de petites ravines dont la longueur ne représente parfois que quelques dizaines de mètres ([figure 7a](#)).

Sur les linéaires pris en compte par tous ces réseaux, les tracés en plans sont globalement très proches : 99,8% du réseau RHUM se situe à moins de 50 m des tronçons de la BD Topo et 98% à moins de 10 m. En règle générale, leurs tracés en plan se superposent parfaitement. Il y a néanmoins des différences significatives de tracé sur quelques tronçons. C'est particulièrement le cas dans les larges zones de tressage, morphologiquement très actives et parcourues par des chenaux multiples dont les tracés sont toujours subjectifs ([figures 7b et 7c](#)). Il y a encore quelques différences dans certains tronçons encaissés et c'est alors le tracé en plan de la BD Topo qui est généralement plus précis.

La continuité longitudinale des réseaux est globalement satisfaisante. 10 cours d'eau du réseau RHUM n'aboutissent pas à la mer :

- 3 cours d'eau sont ou semblent naturellement déconnectés, c'est-à-dire endoréiques (Ravine de l'Etang, Ravine des Trois Mares et un petit cours d'eau dans la plaine des Cafres) ;
- 7 cours d'eau ou tronçons sont déconnectés du réseau hydrographique aval suite à l'exclusion du Canal du Ruisseau des Noirs et du Canal d'En travers.

Les 3 premières discontinuités existent également dans les BD Carthage et Topo mais les 7 dernières n'existent pas dans la mesure où les canaux sont pris en compte par ces dernières. Néanmoins, les dis-

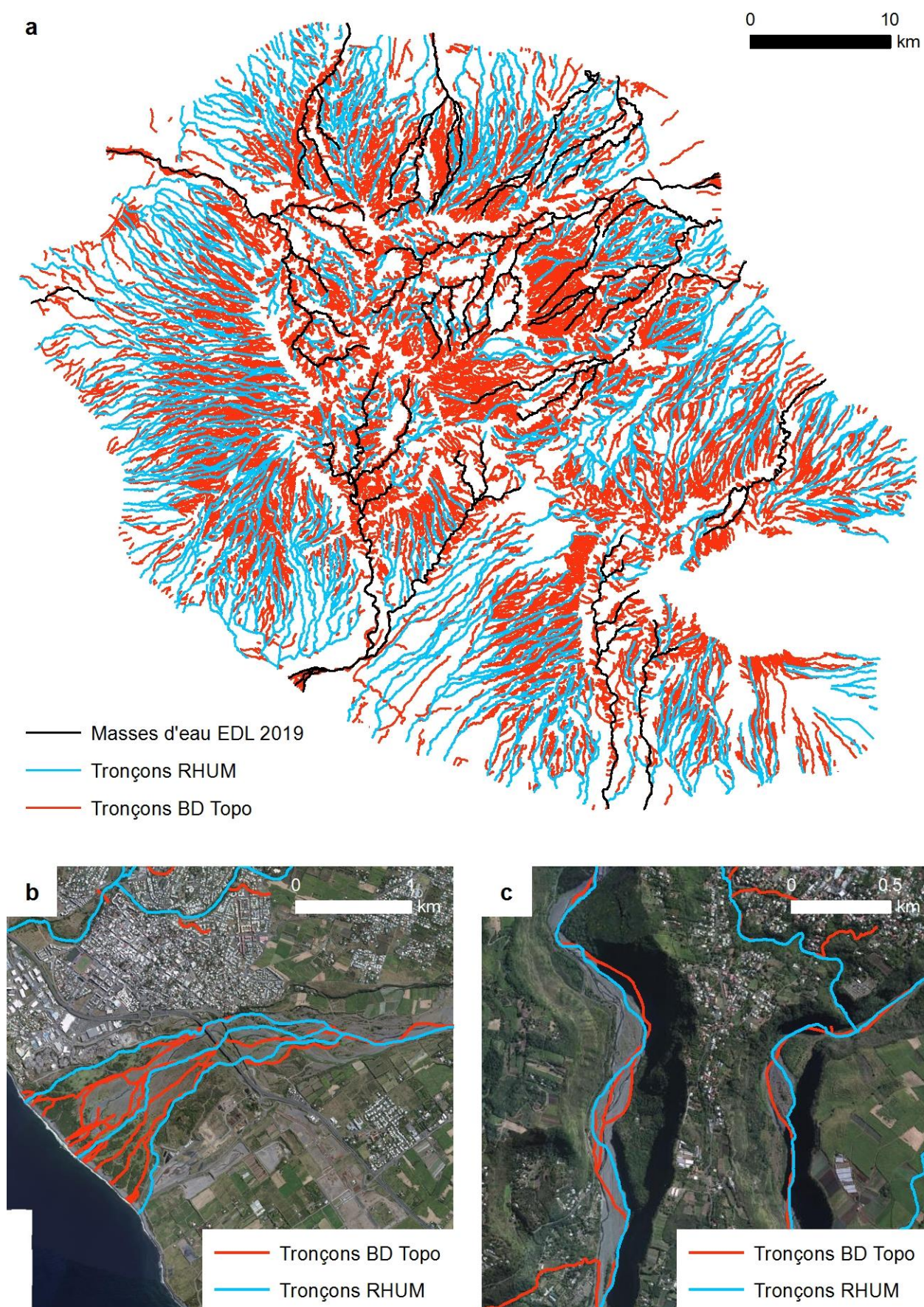


Figure 7. Comparaison des réseaux disponibles à La Réunion

-continuités sont plus nombreuses dans la BD Topo qui intègre davantage de petits cours d'eau endoréiques ou dont le tracé est difficilement détectable.

En définitive, il est préférable d'exploiter le réseau RHUM en corrigeant les quelques erreurs détectées.

c) Construction du réseau PRHYMO

Le réseau PRHYMO de La Réunion a donc été construit à partir du réseau RHUM en apportant quelques corrections à ce dernier.

Nous avons ajouté 2 cours d'eau (représentant 3 TGH et 5 USRA) pour rétablir la continuité du réseau hydrographique : le Canal d'En Travers qui connecte les ravines Divon, Anathase, Renaud et Bernica à l'Etang de Saint-Paul ; la partie aval et canalisée du Ruisseau des Noirs qui connecte la partie amont et non canalisée de ce même cours d'eau, ainsi que la Ravine Montplaisir et la Ravine la Source, à la Ravine du Butor.

Des doublons ont été supprimés (4 paires de tronçons couvraient le même linéaire).

Nous avons corrigé les rangs de Strahler qui présentaient des erreurs ou incohérences. La plupart du temps, il s'agissait de ramener à 0 le rang des drains élémentaires de tête de bassin de moins de 500 m de long pour que les rangs soient plus représentatifs de la taille des cours d'eau (principe d'ordination établi dans RHUM). Cette correction entraîne parfois une diminution de rang des tronçons aval et une diminution de leur largeur théorique de lit mineur, voire un changement de typologie dans de rares cas.

Nous avons enfin redécoupé 2 TGH qui n'étaient pas ou plus homogènes.

Les nouveaux TGH ainsi créés sont repérables par leur identifiant ($tgh_id \geq 2\,000$).

Les USRA et leurs sous-bassins versants ont été modifiés en conséquence. Nous avons par ailleurs modifié quelques sous-bassins aux tracés imprécis et nous avons délimité les quelques-uns qui manquaient de manière à en obtenir un par USRA (100% des USRA ont désormais un sous-bassin versant propre).

2.3.5- Mayotte

a) Réseaux disponibles

Sur ce territoire, 4 réseaux sont disponibles :

- le RHUM : 1 903 TGH et 5 256 USRA représentant 1 021 km ;
- la BD Carthage : 2 251 tronçons hydrographiques et 1 056 km (tous types confondus) ;
- la BD Topo : 2 850 tronçons hydrographiques et 1 058 km (tous types confondus) ;
- la BD Topage : 2 877 tronçons hydrographiques et 1 064 km (tous types confondus).

Les 26 masses d'eau cours d'eau version EDL 2019 représentent 585 km soit 55 à 57% de ces réseaux. (figure 8a).

b) Evaluation des réseaux

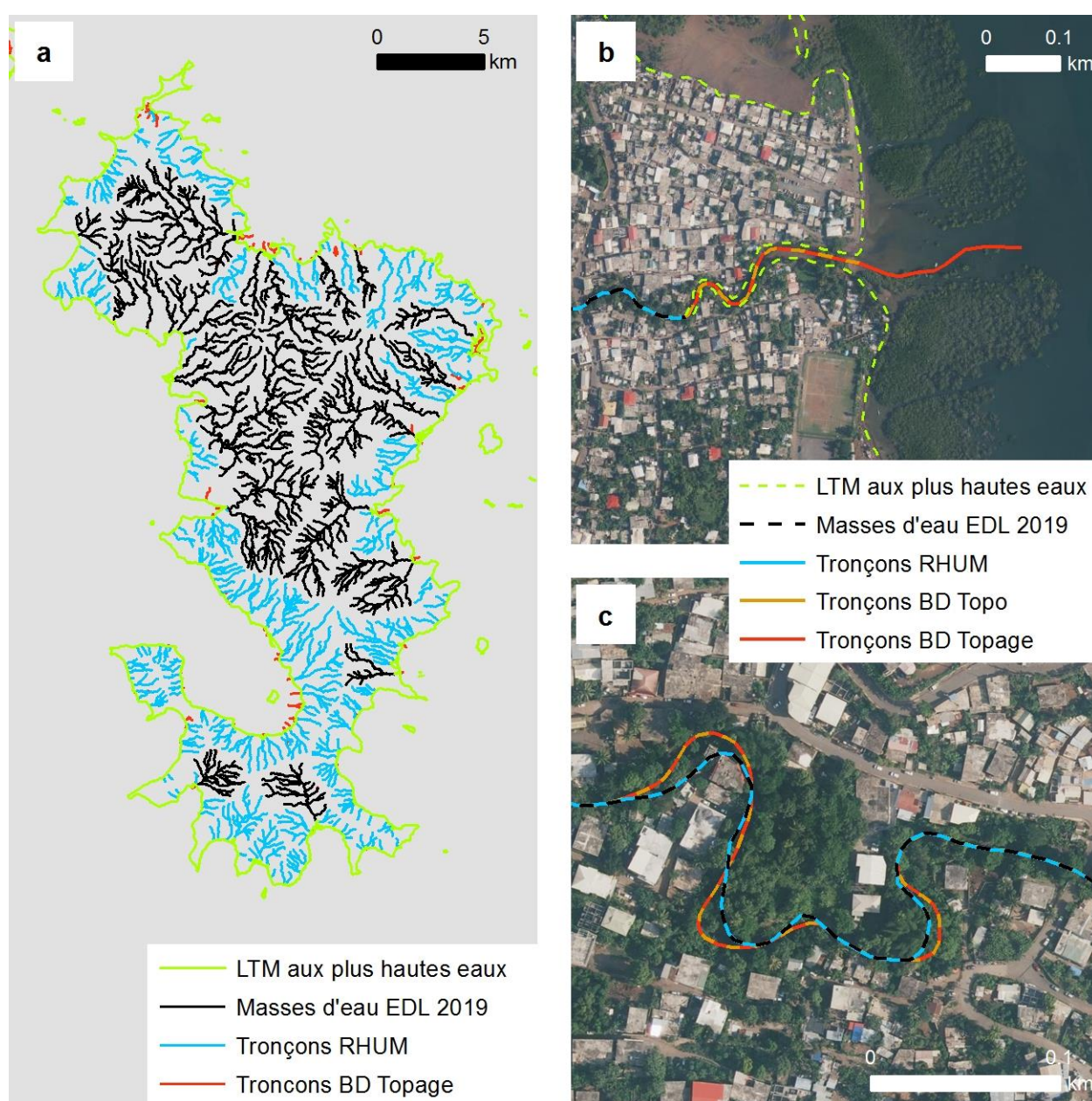
Tous les réseaux sont correctement orientés (de l'amont vers l'aval).

Le réseau RHUM a été construit à partir de la BD Carthage en excluant les tronçons classés « estuaire », situés au-delà de la limite terre-mer (aux plus hautes eaux), ainsi que certains canaux (ex. : canal Mro wa Bizijou).

Le réseau Topage a été construit à partir de la géométrie de la BD Topo en prolongeant certaines extrémités aval de cours d'eau bien au-delà de la limite terre-mer. Topage intègre ainsi 5,6 km (soit 0.5%) de linéaire supplémentaire qui correspond, sur le terrain (*), exclusivement à des estuaires (figure 8b).

** Dans ces 2 couches, il y a des erreurs de classement du type de tronçons : on retrouve des tronçons « à écoulement naturel » entre 2 tronçons « estuaire ».*

Mis à part ces différences mineures d'emprise, les 4 réseaux ont un tracé en plan extrêmement proche : 99,6% du linéaire RHUM se situe à moins de 10 m du réseau Topage et 98% à moins de 1 m. Les différences de tracé sont effectivement très rares et il est difficile de déterminer quel est le meilleur dans la mesure où les cours d'eau mahorais sont rarement visibles sur photographies aériennes (du fait de leur faible largeur et du couvert végétal ; figure 8c).



La continuité longitudinale de tous les réseaux semble totalement satisfaite : les tronçons sont connectés de manière à ce que les cours d'eau aboutissent à la mer (à moins de 200 m de la limite terre-mer renseignée par la BD Topage) sauf 3 d'entre eux (qui s'arrêtent à plus de 500 m de la limite terre-mer) mais il s'agit probablement de cours d'eau endoréiques.

Tous ces réseaux présentent donc une qualité équivalente tant ils sont proches. Le réseau RHUM a cependant l'avantage d'être directement exploitable, car déjà sectorisé, et de se superposer plus précisément aux masses d'eau version EDL 2019 (figures 8b et 8c).

c) Construction du réseau PRHYMO

Le réseau PRHYMO de Mayotte a donc été construit à partir du réseau RHUM en apportant quelques corrections mineures à ce dernier.

Nous avons supprimé 2 cours d'eau très courts (environ 100 m de long) ainsi qu'un bras fictif et secondaire (au droit de la retenue collinaire de Combani).

Nous avons redéfini les rangs de Strahler qui, pour certains tronçons, ne respectait pas la règle établie dans RHUM : considérer un rang égal à 0 pour les drains élémentaires de tête de bassin de moins de 500 m de long pour que les rangs soient plus représentatifs de la taille des cours d'eau. Dans de rares cas, cette correction entraîne également une diminution de rang des tronçons aval et une diminution de leur largeur théorique de lit mineur (2 TGH concernés).

Nous avons prolongé un tronçon vers l'aval pour le connecter à la mer, sans modifier pour autant la longueur des USRA existantes. Ce TGH (n°175) comporte désormais une USRA supplémentaire (175_5).

Les USRA et leurs sous-bassins versants ont été modifiés en conséquence. Nous avons par ailleurs modifié quelques sous-bassins au tracé imprécis et nous avons délimité les quelques-uns qui manquaient de manière à en obtenir un par USRA (100% des USRA ont désormais un sous-bassin versant propre).

2.3.6- Hexagone

a) Réseaux disponibles

Sur ce territoire, 5 réseaux sont disponibles :

- le SYRAH-CE qui, contrairement aux réseaux ultramarins (RHUM), se compose de 2 couches aux géométries bien distinctes :
 - o 69 501 TGH pour 225 205 km,
 - o 106 472 USRA pour 235 429 km (version 2017 et sans tenir compte des doublons) ;
- la BD Carthage : 515 219 tronçons hydrographiques et 539 164 km (tous types confondus) ;
- la BD Topo : 2 916 230 tronçons hydrographiques et environ 800 000 km (tous types confondus) ;
- la BD Topage (version 2019) : 2 700 363 tronçons hydrographiques et 609 400 km (tous types confondus).

b) Evaluation des réseaux

Les réseaux Topo et Carthage sont à l'origine des 3 autres. Le réseau Topo est beaucoup plus dense et ses tracés sont généralement plus précis. Le réseau Carthage est plus sélectif (moins de petits drains naturels ou artificiels) et sa table attributaire est généralement mieux renseignée.

La BD Topage est en passe de devenir le nouveau référentiel hydrographique français, compatible avec le référentiel à grande échelle de l'IGN (RGE) dont fait partie la BD Topo (Sandre 2020). Sa construction repose sur une fusion des BD Carthage et Topo qui privilégie généralement la géométrie de la BD Topo et les données attributaires de la BD Carthage. Au démarrage de notre étude, la BD Topage était déjà diffusée mais pas encore opérationnelle. Son degré d'avancement était variable selon les départements, ce qui lui conférait une forte hétérogénéité. Et si sa géométrie semblait correcte à première vue, sa table attributaire présentait de sérieuses lacunes. Elle est pourtant mieux conçue (complémentarité des attributs et nomenclature détaillée) mais mal renseignée. C'était particulièrement le cas des champs *Réseau principal coulant* et *Tronçon fictif*, indispensables pour construire un réseau continu cohérent et pour déterminer le chaînage longitudinal des tronçons. Ce référentiel a donc rapidement été abandonné.

Les TGH du SYRAH-CE ont été construits par Valette et Cunillera (2010) à partir de la BD Carthage version 3.0 simplifiée par Pella et al. (2006). Cette simplification a supprimé une grande partie du réseau de la BD Carthage originale, en particulier les drains artificiels (ex. : canaux de drainage et d'irrigation) et les bras secondaires (ex. : cours d'eau en tresses) mais également certains cours d'eau de faible rang. Elle a également intégré des arcs fictifs pour combler les discontinuités géométriques préexistantes entre les différents tronçons ou cours d'eau d'un même bassin versant. Du point de vue de la géométrie du réseau, cette couche présente donc deux inconvénients : sa planimétrie est celle de la BD Carthage (référentiel hydrographique à moyenne échelle), moins précise que celle de la BD Topo (référentiel à grande échelle de l'IGN) ; un certain nombre de cours d'eau sont exclus (attention néanmoins à ne pas comparer sa longueur totale à celles des BD Carthage et Topo car ces dernières contiennent un grand nombre de tronçons artificiels). En revanche, elle est presque parfaite vis-à-vis des autres critères d'évaluation (cf. § 2.1). Nous n'avons notamment détecté que 12 discontinuités non justifiées.

Les USRA du SYRAH-CE ont été construites en deux temps : la 1^{ère} étape a consisté à projeter les limites des TGH et leurs identifiants sur la BD Topo version 2.0 ; la 2^{nde} étape a consisté à intégrer certaines masses d'eau qui n'étaient pas prises en compte dans la couche TGH, essentiellement des petits cours d'eau de rang 1. Ces traitements, en particulier la 1^{ère} étape, ont engendré des erreurs : la disparition totale de certains TGH, la disparition partielle de certains TGH (devenus beaucoup plus courts), la projection de certains TGH sur le mauvais tronçon de cours d'eau, quelques doublons attributaires (attribution des mêmes attributs à des tronçons distincts), un très grand nombre de discontinuités (figure 9).

Ces discontinuités constituent un défaut majeur car elles empêchent le chaînage amont-aval du réseau. Leur importance peut être évaluée et illustrée par le calcul des distances aux frontières des blocs jointifs d'USRA, un bloc jointif étant constitué d'une succession d'USRA fusionnées dès lors que leurs extrémités aval et amont sont parfaitement connectées. L'immense majorité des cours d'eau de l'Hexagone aboutissent dans la mer, éventuellement via une lagune ou un estuaire, ou franchissent une des frontières avec les pays limitrophes. Si le réseau numérique est continu, il doit donc présenter une distance aux frontières nulle ou presque (possible décalage entre le réseau des cours d'eau et la limite terre-mer). Les rares exceptions correspondent aux cours d'eau endoréiques que l'on retrouve dans les milieux karstiques et dans les secteurs où la topographie, l'épaisseur et la perméabilité des formations superficielles permet à l'intégralité des eaux superficielles de s'infiltrer (ex. : vallons obstrués par des éboulis ou des moraines perméables, petits cours d'eau provenant d'un plateau et débouchant dans une vaste plaine alluviale). Or les résultats de ce test montrent que la quasi-totalité des cours d'eau numérisés dans cette couche n'aboutissent ni aux frontières, ni à une distance raisonnable de celles-ci. Les discontinuités sont donc extrêmement nombreuses et elles affectent l'ensemble des bassins (tableau 1, figure 10.). Par ailleurs, cette couche présente une géométrie multi-parties : certaines

entités, dites multi-lignes, correspondent à une collection de lignes simples déconnectées les unes des autres, ou connectées entre elles mais sans former une ligne simple et unidirectionnelle (ex. : fourche). Enfin, l'orientation des USRA est aléatoire (dans le sens amont-aval ou aval-amont selon les cas).

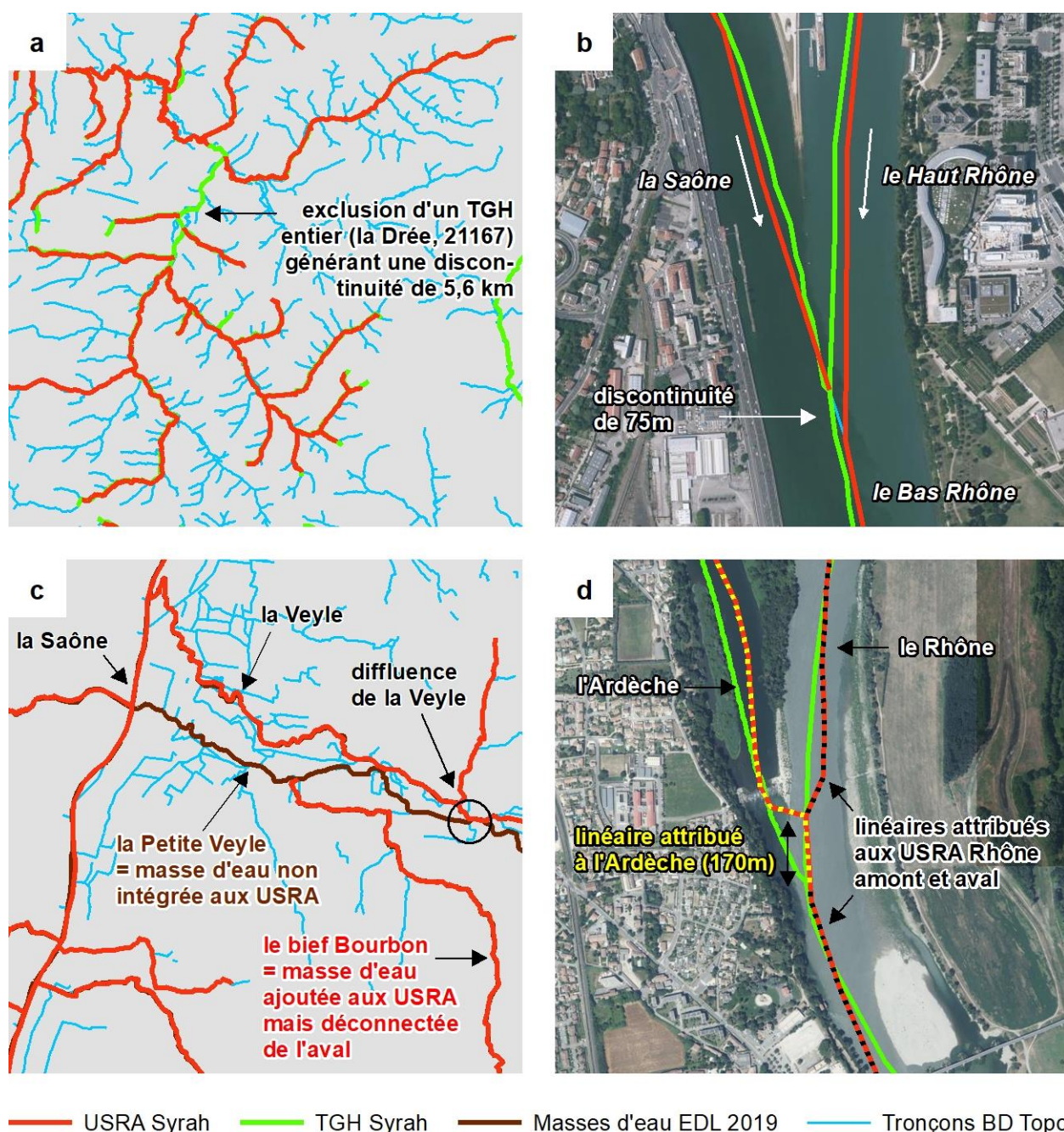


Figure 9. Exemples d'erreurs détectées sur les USRA de SYRAH-CE : a) discontinuité générée par l'absence d'un TGH entier ; b) discontinuité générée par l'absence d'une portion de TGH ; c) discontinuité générée par l'intégration partielle de petites masses d'eau ; d) projection d'un TGH sur un autre cours d'eau

distance aux frontières	nombre de blocs jointifs d'USRA	proportion d'USRA (%)
nulle	471	3%
moins de 1 km	901	5%
plus de 1 km	16 906	95%
plus de 2 km	16 721	94%
plus de 5 km	16 185	91%
plus de 10 km	15 327	86%
total	17 807	100%

Tableau 1. Distances aux frontières des blocs jointifs des USRA du SYRAH-CE

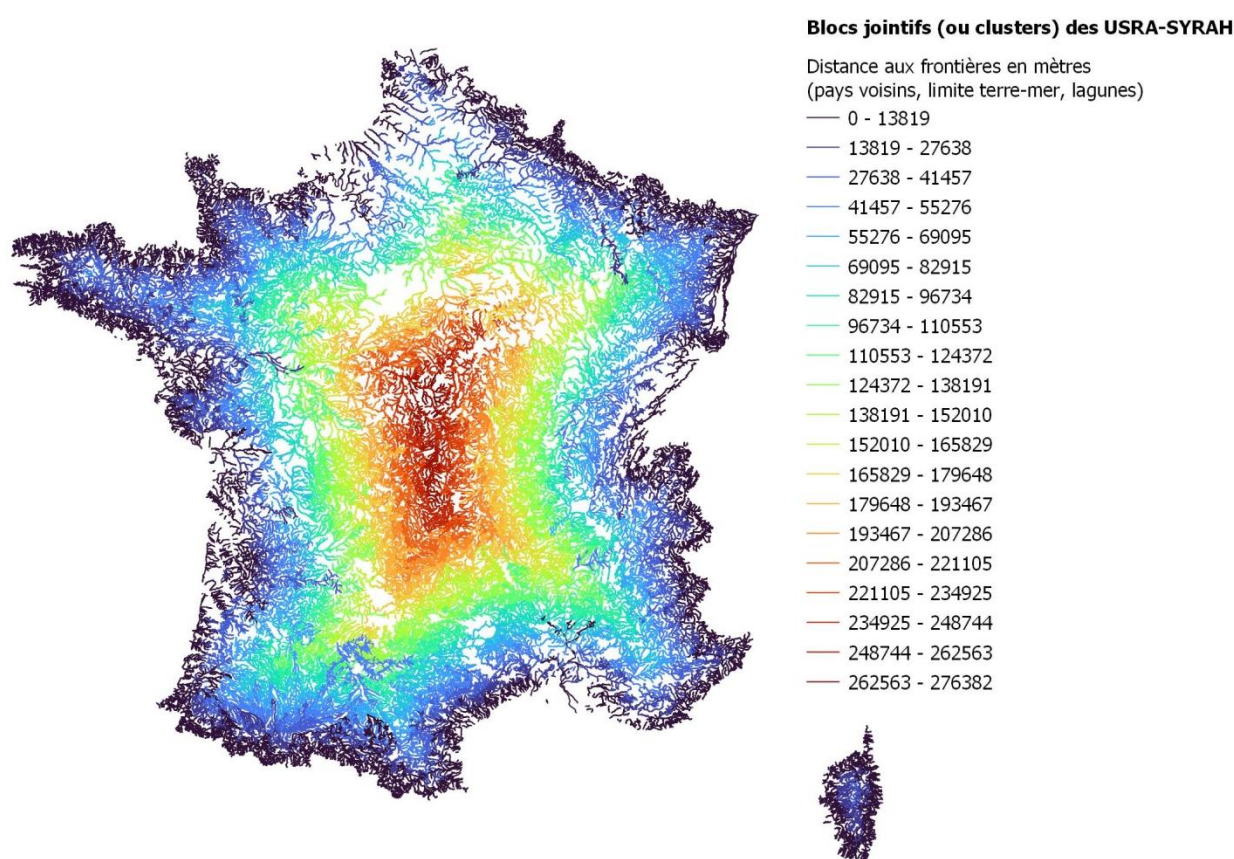


Figure 10. Distances aux frontières des blocs jointifs des USRA du SYRAH-CE

c) Construction du réseau PRHYMO

Deux solutions ont été envisagées pour construire le réseau PRHYMO :

- Etendre le réseau des TGH du SYRAH-CE qui a l'avantage d'être topologiquement correct. La difficulté réside dans le découpage et la caractérisation de nouveaux TGH complémentaires. L'inconvénient est de conserver une géométrie proche de la BD Carthage.
- Projeter le réseau des USRA du SYRAH-CE sur la BD Topo version 3.0 pour se rapprocher de l'actuel RGE et du futur référentiel hydrographique (BD Topage). La principale difficulté réside dans la correction des erreurs préexistantes, en particulier les discontinuités, et la

préservation de ces qualités (une nouvelle projection pouvant engendrer de nouvelles erreurs).

La seconde solution a été retenue et mise en œuvre. Dans l'Hexagone, la géométrie du réseau PRHYMO repose donc sur celle des tronçons hydrographiques de la BD Topo version 3.0 (millésime du 15 décembre 2021).

Un effort important a été réalisé pour rétablir la continuité du réseau. La plupart des discontinuités, généralement les plus petites, ont pu être comblées de manière automatique. D'autres ont été résolues selon une méthode itérative complexe associant corrections manuelles, projection et routage automatiques sur la nouvelle BD Topo. Précisons que toutes les corrections manuelles apportées par l'opérateur étaient finalisées et validées par un script permettant d'assurer la conformité de la topologie du réseau PRHYMO avec la BD Topo (position des nœuds, orientation des écoulements, connectivité). Mais toutes les discontinuités n'ont pas été comblées compte tenu de leur très grand nombre et de la complexité de certaines situations, notamment lorsque la structure des réseaux Carthage et Topo était trop différente (même manuellement, l'opérateur n'est pas toujours parvenu à trouver une solution). De plus, certaines discontinuités sont présentes dans la BD Topo. Comblar ces dernières discontinuités aurait pu gêner la transition vers le nouveau référentiel hydrographique.

D'autres corrections ont été apportées :

- différenciation des doublons attributaires (en attribuant un nouvel identifiant à l'un des deux TGH) ;
- attribution d'une largeur théorique de lit mineur aux tronçons qui en étaient dépourvus ;
- suppression de quelques bras secondaires et tronçons artificiels (ex. : canaux latéraux) qui ne sont pas indispensables à la continuité du réseau ;
- actualisation de la longueur, de l'altitude (d'après le RGE Alti 1m de l'IGN) et de la pente des tronçons.

Précisons que les USRA du SYRAH-CE ont seulement été utilisées pour faciliter le passage depuis la BD Topo 2.0 vers la BD topo 3.0 tout en conservant les identifiants et attributs des TGH. Après leur projection et correction, les USRA d'un même TGH ont été fusionnées pour constituer le réseau des TGH de PRHYMO. Les TGH ont ensuite été découpés en de nouvelles USRA en considérant une longueur maximale adimensionnelle (longueur divisée par la largeur à pleins bords théorique W) proche du RHUM, et plus faible que SYRAH-CE (**figure 11**). Les valeurs médianes par rang de Strahler étaient comprises entre 115W et 120W dans RHUM alors qu'elles variaient de 95W à 1250W dans SYRAH-CE, les plus fortes valeurs étant appliquées aux rangs faibles et inversement. Les valeurs utilisées dans PRHYMO pour construire les USRA dans l'Hexagone sont comprises entre 95W (pour les tronçons de rang 8) et 150W (pour les tronçons de rang 1). L'ordre de grandeur correspond donc à la longueur d'un segment de cours d'eau (100W ; Malavoi et Bravard 2010) mais un léger gradient est maintenu pour que les plus petites USRA conservent une longueur absolue raisonnable (300 m si rang 1) sans modifier celle des plus grandes (40 km si rang 8, comme SYRAH-CE). Le réseau des USRA gagne ainsi en homogénéité et en précision.

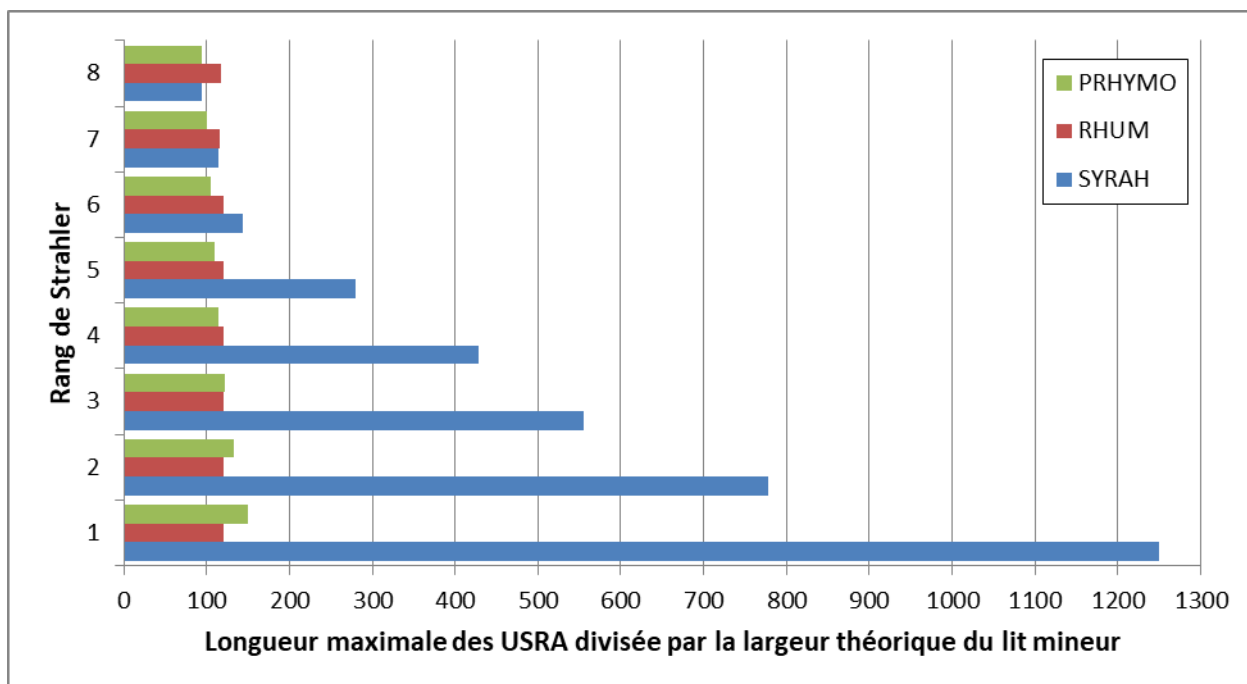


Figure 11. Comparaison des longueurs maximales adimensionnelles des USRA utilisées dans SYRAH-CE, RHUM et PRHYMO (valeurs médianes par rang de Strahler)

2.4- Vue d'ensemble des réseaux PRHYMO

Le **tableau 2** ci-dessous résume les caractéristiques dimensionnelles des réseaux PRHYMO. Les différences sont minimales par rapport aux réseaux RHUM et SYRAH-CE à l'exception du nombre d'USRA dans l'Hexagone qui a été multiplié par plus de 5 du fait de la diminution de leur longueur maximale.

	longueur totale (km)	TGH		USRA	
		effectif	longueur moyenne (m)	effectif	longueur moyenne (m)
Hexagone	236 153	70 093	3 369	579 242	408
Guadeloupe	3 559	4 820	738	10 014	355
Martinique	4 063	9 659	421	18 068	225
Guyane	109 652	89 792	1 221	188 774	581
Réunion	3 546	1 610	2 203	5 067	700
Mayotte	1 021	1 900	537	5 253	194
total	357 995	177 874	2 014	806 418	444

Tableau 2. Caractéristiques dimensionnelles des réseaux PRHYMO

3- Structure des modèles d'évaluation

Ce chapitre décrit la structure des modèles d'évaluation (arbres bayésiens), c'est-à-dire les descripteurs pris en compte pour identifier les pressions et leurs relations pour calculer les probabilités (ou risques) d'altération. Il présente d'abord 4 nœuds bayésiens récurrents qui interviennent dans l'évaluation de plusieurs paramètres élémentaires (§ 3.1 à 3.4). Il présente ensuite les modèles des 10 paramètres élémentaires (§ 3.5 à 3.14).

Chacune de ces sections est organisée en 2 parties : la 1^{ère} présente le modèle PRHYMO et la 2^{de} présente les évolutions par rapport aux modèles RHUM et SYRAH-CE. Le lecteur qui veut comprendre les résultats PRHYMO peut se limiter à lecture des premières sous-sections. Celui qui s'interroge sur les évolutions méthodologiques par rapport aux précédents dispositifs s'intéressera également aux secondes.

La structure des modèles d'évaluation est représentée graphiquement en annexe 1, qui permet une lecture plus synthétique.

3.1- Nœud *Rectification*

3.1.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce nœud rend compte de la probabilité d'une rectification du lit. Il intervient dans l'évaluation de nombreux paramètres élémentaires, parfois même à plusieurs reprises, en particulier pour l'élément de qualité *Morphologie*. Outre une simplification du tracé en plan, il témoigne en effet de multiples altérations possibles : modification de la section en travers, homogénéisation des faciès d'écoulement, artificialisation des rives, augmentation de la pente du lit, etc.

Il est calculé à partir de 2 descripteurs :

- La rectitude du tracé en plan, évaluée à partir d'unités spatiales d'intégration (USI) qui correspondent à des segments d'USRA. Le calcul des USI et du taux de rectitude des USRA est expliqué plus loin (cf. § 4.1.2).
- La pente du lit, utilisée pour identifier les tronçons qui sont a priori naturellement rectilignes (**tableau 6**). Un seuil de 6% est utilisé, ce qui correspond à la valeur de pente généralement admise pour distinguer les torrents ($\geq 6\%$) des rivières torrentielles (1,5 à 6%). Cette valeur permet d'éviter un maximum de faux positifs (torrents dont le tracé rectiligne n'est pas un indice de rectification) mais elle est certainement trop élevée pour les éliminer tous.

Par ailleurs, la rectitude est influencée par d'autres contrôles géomorphologiques que la pente. Et la rectitude calculée sur le réseau hydrographique numérique dépend encore de la précision de ce dernier. En Guyane, le réseau numérique ne rend pas compte de la sinuosité réelle des cours d'eau, ce qui se traduit par une surestimation de la rectitude et de la rectification. Nous avons donc imposé la valeur minimale au descripteur rectitude sur ce territoire.

3.1.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

SYRAH-CE ne tenait compte que de la rectitude du tracé dans ses évaluations. L'intégration de la pente permet désormais d'éviter un certain nombre de faux positifs dans l'Hexagone (14% des USRA).

RHUM intégrait déjà ce nœud. La seule évolution par rapport à ce dernier réside dans l'attribution de la valeur « faible » par défaut en Guyane.

3.2- Nœud *Contraintes latérales*

3.2.1- Evaluation selon PRHYMO

Les contraintes latérales représentent toutes les structures et aménagements, implantés directement sur les berges ou aux abords immédiats du cours d'eau, susceptibles d'entraver le débordement des eaux en crue ou la divagation du lit. Ce nœud intervient évidemment dans l'évaluation du paramètre élémentaire *Continuité latérale* mais également dans celle du paramètre élémentaire *Morphologie – Structure de la rive*.

Il est calculé à partir de 3 descripteurs :

- Le taux d'aménagements à proximité du lit mineur rend compte de la présence d'aménagements dans un rayon de 1,5 fois la largeur théorique à pleins bords autour de la polyligne représentant l'axe du cours d'eau (emprise du *buffer3W* ; **figure 12**). Les aménagements considérés sont très nombreux et sont pour l'essentiel renseignés par la BD Topo de l'IGN : murs, quais, voies de communication (ex : routes, canaux, voies ferrées), plans d'eau artificiels (ex : gravières, bassins d'orage, bassins portuaire), autres équipements de transport (ex : aérodomes, gares de triage, parkings), zones urbaines, terrains de sport, etc. Les digues sont prises en compte lorsqu'elles sont renseignées par une couche spécifique (couches transmises par les Offices de l'eau en Martinique et à La Réunion). Les sites d'orpaillage légaux, qu'ils soient encore en activité ou non, sont également pris en compte en Guyane dans la mesure où ils entraînent une importante déstructuration des fonds de vallée (Kreutzenberger et al. 2019). Des précisions relatives au type d'activités prises en compte sont fournies en § 3.4.2. et 3.8.1.
- Le taux de chenalisation du tronçon représente la proportion du tronçon classée comme canal, chenal, conduit busé ou écoulement canalisé dans la BD Topo dans l'Hexagone ou la BD Carthage en Outre-mer.
- Les « fonds bétonnés » (nom des couches utilisées dans RHUM et réutilisées dans PRHYMO) correspondent à des linéaires de cours d'eau totalement artificialisés, sur le fond du lit comme sur les berges (**figure 13**).

Les contraintes latérales naturelles telles que les versants rocheux ne sont pas prises en compte.

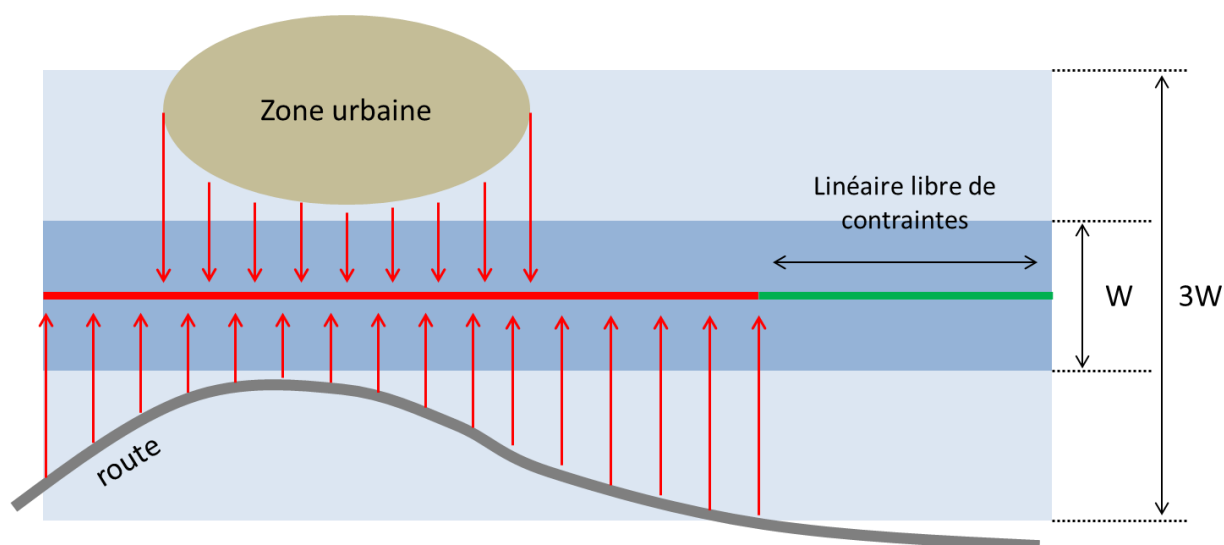


Figure 12. Principe de calcul du taux d'aménagements à proximité du lit mineur. Le taux est ici égal à 70% environ

3.2.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Ce nœud n'a pas vraiment d'équivalent dans SYRAH-CE ou dans RHUM. Mais l'influence des aménagements riverains était bien prise en compte à travers la présence de voies de communication à proximité du lit mineur, l'existence de digues et/ou le taux de surfaces artificielles à proximité du lit mineur. Les modèles d'évaluation pour la Guyane intégraient de plus les sites orpaillés et les baranques.

La principale évolution dans PRHYMO est d'élargir le nombre et le type de pressions en compilant un grand nombre d'aménagements dans le premier descripteur (taux d'aménagements à proximité du lit mineur) et en ajoutant le taux de chenalisation ainsi que les tronçons bétonnés.

Le premier descripteur prend notamment en compte les plans d'eau formés par les anciennes gravières qui, en cas de capture par le cours d'eau, peuvent devenir d'importants pièges à sédiments. Mais la capture des anciennes gravières est généralement anticipée et empêchée. C'est pourquoi nous considérons que ces aménagements représentent une contrainte latérale majeure dès lors qu'ils se situent à proximité du lit mineur.

3.3- Nœud *Colmatage du lit*

3.3.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce nœud évalue le risque de colmatage minéral des fonds ou plutôt de l'accroissement du degré de colmatage par les pressions anthropiques. Il intervient dans l'évaluation des paramètres élémentaires *Morphologie – Structure et substrat du lit* et *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraines*. Il est évalué différemment selon les territoires en raison de la disponibilité des données ou de la spécificité des pressions :

- Sur tous les territoires :
 - le taux de cultures agricoles intensives dans le bassin versant rend compte de l'accroissement de la fourniture en matériaux fins par érosion des sols cultivés ;
 - la pente du lit tient compte de la capacité des tronçons à évacuer ces matériaux fins ;
 - les « fonds bétonnés » constituent un cas extrême de colmatage d'origine anthropique ([figure 13](#)).
- Dans l'Hexagone (faute de données semblables en Outre-mer) :
 - la sensibilité naturelle des sols à l'érosion permet de pondérer l'impact des pressions agricoles. Une classe de sensibilité a été attribuée à chaque zone hydrographique de la BD Carthage à partir des données diffusées par l'ESDAC (European Soil Data Center ; Panagos et al. 2014, 2015). La méthode de calcul est présentée en annexe 3.
 - la densité de haies dans le bassin versant, qui constituent autant de barrières capables de limiter les apports de fines depuis les terres agricoles (Ouvry et al. 2019).
- En Guyane :
 - la présence de site(s) d'orpaillage sur le tronçon ou en amont proche génère souvent un panache turbide en aval par introduction ou remise en suspension de fines (DEAL Guyane, adapté dans Tamisier et al. 2017 ; Gallay 2018) ;
 - la présence de pistes forestières ou agricoles à proximité du lit mineur peut introduire de grandes quantités de fines par ruissellement ;

- la présence de carrières à proximité du lit mineur peut en faire autant, avec un degré variable selon la nature des matériaux exploités. Nous considérons que la pression est maximale lorsque ces derniers sont principalement des sables et/ou des latérites, moindre pour les matériaux rocheux.



Figure 13. Aménagement de la Rivière aux Herbes sur la commune de Basse-terre (source : Karininfo.com)

3.3.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Sur ce point, PRHYMO s'inspire en grande partie du RHUM qui faisait déjà intervenir un nœud *Colmatage* dans l'évaluation des paramètres élémentaires *Morphologie – Structure et substrat du lit* et *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraines*, en utilisant en partie les mêmes descripteurs. Les exceptions sont les suivantes :

- RHUM ne tenait pas compte de la pente du lit.
- RHUM prenait en compte la lithologie dominante du fond de vallée, ce qui avait du sens pour évaluer la connexion aux masses d'eau souterraines mais pas pour la qualité des substrats. Ce descripteur témoigne de l'absence de nappe alluviale, pas de l'absence de risque de colmatage. Même dans les fonds de vallée à dominante rocheuse, les cours d'eau peuvent avoir un matelas alluvial de faible épaisseur sensible à ce type de perturbation. Il est donc exclu du nœud *Colmatage* de PRHYMO mais il est toujours pris en compte dans l'évaluation du paramètre *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraines* (cf. § 3.7).
- RHUM prenait en compte la présence de barrages en aval dans la mesure où les alluvions fines s'accumulent souvent au fond des retenues. Mais les retenues entraînent également d'autres altérations. Dans PRHYMO, les retenues sont exclues du nœud *Colmatage* car elles sont déjà prises en compte à travers le taux d'étagement qui, comme le nœud *Colmatage*, intervient dans l'évaluation des paramètres *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraines* et *Morphologie – Structure et substrat du lit*.

- En Martinique, le taux de cultures agricoles intensives était exclu au profit de la « vulnérabilité des sols à l'érosion ». Ce descripteur correspondait en fait aux zones de forte érosion issues d'une évaluation de l'aléa érosion des sols (Cheula 2013), influencé par des facteurs naturels et anthropiques. Aussi ne rendait-il pas spécifiquement compte des pressions.

SYRAH-CE faisait intervenir un nœud *Colmatage* uniquement dans l'évaluation du paramètre élémentaire *Morphologie – Structure et substrat du lit*. Et les descripteurs utilisés, indiqués ci-dessous, étaient quasiment tous différents :

- Indice d'érosion des sols ;
- Puissance potentielle du cours d'eau ;
- Surlargeur des grands cours d'eau (pour les tronçons de rang ≥ 4) ;
- Rectitude (pour les tronçons de rang ≤ 3) ;
- Taux de surface en agriculture intensive (pour les tronçons de rang ≤ 3) ;
- Rang de Strahler (essentiellement utilisé pour sélectionner les descripteurs).

L'indice d'érosion des sols était calculé en multipliant un aléa érosion des sols, le pourcentage de surface agricole utile des cantons, un coefficient de couverture végétale des terres agricoles (déterminé en fonction des cultures dominantes par canton). L'aléa seul tenait déjà compte de l'influence des pressions agricoles ainsi que de la sensibilité naturelle des sols à l'érosion. Le calcul consistait à maximiser le poids des pressions agricoles pour minimiser la part naturelle de l'aléa érosion. Les données de l'ESDAC permettent désormais de dissocier la sensibilité des sols et les pressions, ce qui est préférable.

La puissance potentielle du cours d'eau, exprimée en W/m^3 , était utilisée pour pondérer le risque de colmatage. Elle était calculée en multipliant la pente de la vallée, la masse volumique de l'eau et le débit spécifique non dépassé 99% du temps (débit divisé par la superficie du bassin versant). Il ne s'agit donc pas de la puissance spécifique, qui fait intervenir la largeur du lit plutôt que la superficie de bassin versant et s'exprime en W/m^2 . La masse volumique est une constante qui n'influence pas le classement des cours d'eau. La superficie du bassin versant n'a d'intérêt que si le débit non dépassé 99% du temps est pris en compte car elle lui confère un caractère adimensionnel (sa valeur devient comparable entre grands et petits cours d'eau). Ce débit correspond à peu près à celui d'une crue annuelle et est un piètre indicateur de la capacité des tronçons à remobiliser les alluvions fines comme les alluvions grossières. A superficie de bassin égale, l'augmentation de ce débit peut provenir d'une plus forte pluviosité ou d'une plus forte réactivité hydrologique du bassin versant, ce qui a au contraire tendance à augmenter l'érosion des sols donc les apports de fines (comme le prend en compte l'indicateur de sensibilité à l'érosion des sols). De plus, la géométrie à pleins bords des cours d'eau s'ajuste à la pluviosité et plus exactement au débit dominant, dont la période de retour (1 à 3 ans) est du même ordre que celle du débit utilisé ici, si bien que la puissance spécifique reste à peu près constante pour une pente et une superficie de bassin versant donnée. La pente de la vallée avait été préférée à la pente du lit car la 1^{ère} est une variable de contrôle des hydrosystèmes alors que la 2^{nde} est une variable de réponse. En pratique, ces deux grandeurs sont aussi efficaces l'une que l'autre lorsqu'il s'agit de distinguer quelques classes de cours d'eau allant des torrents de montagne aux grands cours d'eau de plaine. Par ailleurs, la pente du lit rend mieux compte de la puissance effective du tronçon. Enfin, elle est plus facile à obtenir. PRHYMO remplace donc ce descripteur par la pente du lit.

La surlargeur des grands cours d'eau visait à identifier les tronçons dont la capacité de transport était amoindrie suite à un élargissement artificiel. L'exclusion de ce descripteur est principalement motivée par la difficulté à détecter ces tronçons du fait de la forte variabilité naturelle des largeurs de cours

d'eau. Cette variabilité est d'ailleurs souhaitable et évaluée par le paramètre élémentaire *Morphologie – Variation de la profondeur et de la largeur du lit*.

Pour les petits cours d'eau, la rectitude et le taux de surface d'agriculture intensive étaient associés pour évaluer, par proxy, leur probabilité d'avoir été recalibrés. Ils suppléaient donc à la surlargeur qui n'est mesurable que sur les grands cours d'eau. PRHYMO ne tient pas compte de la rectitude et ne considère plus la pression agricole, pour ce nœud, que sous l'angle des apports potentiels en matériaux fins.

3.4- Nœuds *Déficit sédimentaire et Incision*

3.4.1- Evaluation selon PRHYMO

Ces deux nœuds récurrents évaluent les pressions sur l'équilibre sédimentaire des tronçons, c'est-à-dire l'équilibre entre les flux solides et les flux liquides, et plus particulièrement le risque de déficit sédimentaire. Ils interviennent dans l'évaluation des paramètres élémentaires *Morphologie – Structure et substrat du lit*, *Morphologie – Variation de la profondeur et de la largeur du lit*, *Continuité latérale*, *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraine*.

Nous évaluons le risque de déficit sédimentaire en distinguant 2 groupes de pressions intervenant à des échelles distinctes :

- Les pressions amont :
 - Le taux de bassin versant intercepté par les grands barrages représente le pourcentage surfacique du bassin situé en amont des ouvrages susceptibles de bloquer la totalité de charge solide grossière (charge de fond), ce qui se traduit par une diminution de la fourniture sédimentaire des tronçons aval. Les « grands barrages » ont été identifiés de manière empirique en tenant compte de la taille et de la pente des cours d'eau (une hauteur de chute et une longueur de retenue minimales sont nécessaires pour considérer que l'ouvrage est totalement bloquant ; ces valeurs augmentent avec le rang de Strahler ; pour un rang donné et une hauteur de chute donnée, ces critères sont de plus en plus restrictifs à mesure que la pente augmente car la longueur de la retenue diminue).
 - Le taux d'étagement des tronçons amont représente la somme des hauteurs de chute des ouvrages transversaux divisée par le dénivelé total de ces tronçons. Il rend compte du ralentissement du transit sédimentaire généré par ces ouvrages du fait de la dissipation de l'énergie potentielle des écoulements. Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 1 m sont exclus du calcul car leur influence en crue est négligeable.
 - Le taux d'imperméabilisation du bassin versant rend compte de l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des crues qui, au-delà d'un certain seuil, entraîne des ajustements morphologiques comparables à une érosion progressive (enfouissement et élargissement du lit).
- Les pressions locales (qui s'exercent au droit du tronçon ou aux environs) :
 - La rectification du tracé (§ 3.1) se traduit surtout par une augmentation de la pente moyenne du tronçon donc une augmentation de l'énergie des écoulements.
 - Les travaux de curage réalisés sur le tronçon ou en amont proche génèrent un déficit sédimentaire du tronçon traité et une possible érosion progressive sur les tronçons aval. Le risque d'érosion régressive est négligé car les curages d'entretien n'ont théoriquement pas vocation à surcreuser le lit mais à le maintenir à un niveau

acceptable pour les usages riverains en rétablissant artificiellement l'équilibre sédimentaire local (ex. : accumulation en queue de retenue de barrage). Cette pression n'est renseignée qu'en Martinique. Pour les autres territoires, nous attirons l'attention du lecteur sur le traitement particulier des descripteurs non renseignés tels que celui-ci dans le calcul des probabilités d'altération (cf. § 4.4).

- La présence d'activités légales d'orpaillage sur le tronçon ou en aval proche dans le cas de la Guyane. L'orpaillage bouleverse totalement les fonds de vallée, ce qui se traduit généralement par une déstructuration de la morphologie du cours d'eau (section en travers, profil en long, tracé en plan ; Kreutzenberger et al. 2019) et parfois par un front d'érosion régressive en amont (**figure 14**). Des précisions relatives au type d'activités prises en compte sont fournies en § 3.4.2. et 3.8.1.

Le nœud *Incision* intègre ensuite la lithologie dominante du fond de vallée (alluviale ou rocheuse) pour pondérer les conséquences du déficit sédimentaire. Les rivières alluviales ont effectivement tendance à s'inciser contrairement aux rivières à fonds rocheux. Mais elles sont également plus sensibles à une dégradation des substrats (pavage, affleurements rocheux, déficit en graviers, etc.). Ce nœud n'évalue donc pas exclusivement la probabilité d'une incision du lit. Il a été nommé ainsi pour le distinguer du nœud *Déficit sédimentaire* en évitant une appellation complexe telle que « risque d'altération induit par un déficit sédimentaire pondéré par le caractère plus ou moins alluvial du tronçon ».



Figure 14. Exemple d'un site réhabilité après exploitation par l'activité légale d'orpaillage (à gauche) et de l'érosion régressive constatée 2 ans après sur le tronçon amont (à droite) (Périat G.)

3.4.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Les risques d'incision ou de déficit sédimentaire étaient évalués de manière sensiblement différente par RHUM et SYRAH-CE.

Ils avaient néanmoins pour point commun de prendre en compte la présence de plans d'eau déconnectés (du lit mineur) dans le lit majeur. Ces derniers étaient assimilés, par proxy et donc avec une certaine incertitude, à des gravières témoignant d'anciennes activités d'extraction dans le lit mineur et/ou à proximité. Les extractions massives de granulats ont effectivement engendré des déficits sédimentaires considérables. Leurs impacts, souvent irréversibles, demeurent et peuvent expliquer l'état actuel de certains cours d'eau mais il ne s'agit plus d'une pression dans la mesure où ces activités ont cessé depuis 1994. Ce descripteur a donc été écarté pour renforcer (i.e. ne pas masquer) l'appréhension des autres pressions ayant toujours cours et sur lesquelles le décideur peut agir. Toutefois, la présence de gravières en lit majeur est désormais renseignée à titre d'avertissement dans

les tables de résultats fournies (attribut *av_aggrave* qui alerte sur la présence de facteurs susceptibles d'aggraver l'état de dégradation du cours d'eau).

RHUM considérait également les carrières implantées en lit majeur comme de potentielles gravières. Elles ne sont plus prises en compte pour les mêmes raisons que précédemment. Les évolutions sont globalement mineures pour les DROM insulaires. En Guyane, les extractions réalisées par les barges sont également exclues dans la mesure où, à une exception près, cette activité a cessé depuis 2017 (source : DEAL Guyane). Et la pression liée aux activités d'orpaillage est désormais évaluée par un seul descripteur calculé à partir des données de la BD Camino qui ne renseigne que les activités légales. La principale évolution pour la Guyane est donc l'exclusion des activités illégales d'orpaillage. L'inventaire des sites d'orpaillage illégaux est une donnée sensible qui impose certaines précautions avant de l'intégrer dans un dispositif ayant vocation à être largement diffusé et régulièrement actualisé. Par ailleurs, les activités illégales d'orpaillage peuvent avoir des impacts spécifiques (Laperche 2014, Gallay 2017) qu'il convient d'abord de préciser pour différencier leur influence dans les modèles d'évaluation par rapport aux activités légales. Les services de l'Etat et partenaires locaux ont ainsi amorcé une réflexion sur ces sujets dont l'issue est prévue pour fin 2025 à début 2026.

Dans SYRAH-CE, il n'y avait pas de nœuds récurrents et les pressions pouvant modifier l'état sédimentaire des cours d'eau étaient évaluées de différentes manières selon le paramètre élémentaire concerné. Les descripteurs les plus souvent utilisés étaient la présence de barrages en amont, la rectitude du tracé et la présence de plans d'eau déconnectés (du lit mineur) dans le lit majeur. La présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique, le cumul des surfaces des sous-bassins interceptés, la densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente et le débit solide observé intervenaient parfois. Le cas particulier des plans d'eau déconnectés dans le lit majeur a déjà été évoqué. Celui des descripteurs qui n'ont pas été conservés est développé dans les paragraphes suivants.

Le Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE) est désormais mieux renseigné que lors de la conception du SYRAH-CE. Les hauteurs de chute (à l'étiage) ont de plus été enrichies par les données de l'ensemble des modules applicatifs du Géoréférenceur des obstacles (GEOBS). Pour l'Hexagone, une extrapolation des hauteurs de chute manquantes a été réalisée dans le cadre du projet de recherche AMOBIO (Bourillon et al. 2023). Cette extrapolation n'a pas été réalisée en Outre-mer, du fait de trop petits jeux de données à disposition pour la fiabiliser. Le taux d'étagement, basé sur ces données, remplace donc avantageusement la densité d'obstacles à l'écoulement pondérée par la pente.

Le taux de bassin versant intercepté par les grands barrages est l'équivalent du cumul des surfaces des sous-bassins interceptés. Mis à part son intitulé, la seule évolution porte sur les critères utilisés pour identifier les grands barrages mais nous ignorons ceux utilisés par SYRAH-CE. Il remplace encore 2 autres descripteurs : la présence de barrages en amont (2 tronçons amont) et la présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique, tous considérés comme de potentiels pièges à sédiments. Le nouveau descripteur rend mieux compte de l'impact des barrages amont. Il permet notamment de tenir compte des barrages lointains (>2 tronçons) s'ils déconnectent malgré tout une partie significative du bassin versant. Il permet également d'exclure les plans d'eau naturels qui ne représentent pas une pression bien qu'ils peuvent éventuellement bloquer la totalité de la charge de fond.

Le descripteur intitulé « débit solide observé », toujours dans SYRAH-CE, avait été déterminé en analysant la densité de bancs alluviaux sur un large échantillon de tronçons. Aux tronçons non échantillonnés était attribuée une valeur moyenne des tronçons environnants. Il visait à modérer le risque d'altération des cours d'eau présentant une plus forte densité de bancs assimilée à un moindre degré de dégradation (il existe encore un stock de sédiments), à une meilleure résilience (la rivière conserve une certaine dynamique fluviale) et/ou à une moindre pression (les obstacles sont ou sont

devenus transparents au transport solide). Ce descripteur a été supprimé pour 2 raisons. La première raison est pragmatique : nous ne sommes pas en mesure de réaliser ce travail sur l'ensemble des cours d'eau ultramarins et de l'Hexagone (où les données datent de 2010 voire un peu avant) et il paraît difficile de le réitérer lors de chacune des prochaines évaluations DCE. La seconde raison est théorique : dans l'absolu, la densité de bancs ne témoigne ni de l'état sédimentaire des cours d'eau ni de leur sensibilité aux pressions. Elle est très variable selon les contextes géomorphologiques et certains cours d'eau présentent encore un stock alluvial remarquable mais qui s'est considérablement amoindri et est toujours menacé. Il n'est donc pas justifié de considérer que les cours d'eau caractérisés par une charge solide naturellement abondante soient moins sensibles ou moins dégradés que ceux qui en sont naturellement dépourvus. Par ailleurs, même au sein d'une région géomorphologiquement homogène, les cours d'eau qui présentent encore une charge solide abondante ne sont pas moins sensibles aux pressions que ceux qui n'en sont plus pourvus. Même si l'état de ces derniers est a priori plus dégradé, l'objectif de PRHYMO reste d'évaluer l'influence des pressions (actuelles) qu'ils subissent.

3.5- Paramètre *Hydrologie* – *Quantité*

3.5.1- Evaluation selon *PRHYMO*

Ce paramètre évalue les pressions sur l'intensité des écoulements en considérant 2 types de débits :

- la pression sur les débits d'étiage ;
- la pression sur les débits annuels moyens.

Une réduction du débit d'étiage constitue un risque majeur pour la survie et l'équilibre des espèces animales ou végétales inféodées aux milieux aquatiques (ex : manque d'eau, déconnexion des annexes hydrauliques et des zones ripariennes, diminution et cloisonnement des habitats disponibles, hausse de la température de l'eau, diminution du taux d'oxygène dissous, concentration des polluants, prolifération d'algues dans le lit).

Une réduction du débit annuel moyen (ou module interannuel) représente une diminution globale de la ressource en eau et peut se traduire par de multiples altérations telles qu'une raréfaction des crues morphogènes, une contraction de la bande active, une diminution des échanges hydriques avec la nappe et les écosystèmes riverains.

L'évaluation s'appuie principalement sur les données de la Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) qui est devenue la référence pour ce type d'analyse. Elle compile les informations collectées par les établissements publics et services de l'Etat en charge de la gestion des redevances (Agences et Offices de l'eau, DEAL). Elle renseigne les volumes annuels prélevés et leurs usages, elle est régulièrement mise à jour, elle tient compte de l'exploitation des eaux souterraines comme des eaux superficielles. Certains prélèvements échappent néanmoins à cette banque de données (ex. : prélèvement non déclaré par l'utilisateur, usage exonéré, volume prélevé inférieur aux seuils de déclaration).

Le principal descripteur est le volume d'eau consommé annuellement dans le bassin versant. Le volume annuel prélevé moyen (en m³/an) est calculé sur 3 ans pour tenir compte de la variabilité des prélèvements liés aux aléas climatiques (2018, 2019 et 2020 dans cette 1^{ère} version de PRHYMO car les millésimes ultérieurs de la BNPE étaient incomplets). Il est ensuite converti en débit spécifique consommé (en m³/km²/an) en fonction de la superficie du bassin versant et d'un taux de non restitution. Ce dernier représente la proportion du volume prélevé qui n'est pas restituée à la masse d'eau. Il est donc assimilable à un taux de consommation et varie selon l'usage des eaux prélevées. Nous

avons appliqué les taux utilisés dans le test des eaux de surface dans le cadre de l'évaluation des masses d'eaux souterraines (MTES 2019) : 80% pour l'irrigation, 20% pour l'alimentation en eau potable (AEP), 7% pour l'industrie et les autres activités économiques, 3% pour la production d'énergie (hors hydroélectricité). Les eaux turbinées par les barrages hydroélectriques et les eaux dérivées par les canaux (usage « canaux » de la BNPE) ne sont pas prises en compte car elles sont restituées aux cours d'eau.

Cette métrique est utilisée en considérant des seuils différents selon que l'on évalue les pressions sur les débits d'étiage ou sur les débits annuels moyens :

- Pour les débits d'étiage, nous considérons deux seuils de 5% et 15% du débit mensuel le plus faible d'une année quinquennale sèche (QMNA5). Mais, dans la mesure où la consommation d'eau en période sèche est à peu près 2 fois plus élevée que la consommation annuelle moyenne (principalement du fait de l'irrigation), il faut considérer que ces seuils représentent une pression qui est de l'ordre de 10 et 30% du QMNA5. Ces dernières valeurs s'inspirent du seuil unique de 20% recommandé pour l'évaluation des masses d'eaux souterraines (MTES 2019). Nous avons préféré distinguer 2 seuils au-delà desquels l'impact est modéré (> 10%) puis fort (> 30%).
- Pour les débits annuels moyens, nous considérons deux seuils de 10% et 30% du module interannuel. Ils sont donc identiques aux précédents en valeur relative (%) mais bien plus élevés en valeur absolue ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$).

D'après les informations dont nous disposons (sources : Banque Hydro, Météo France, Bleuse et Mandard 1993, Montfort et al. 2005, Vittecoq et al. 2010, Riffard et al. 2012), ces 4 seuils représentent respectivement :

- 2 500, 7 500, 33 000 et 100 000 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ dans l'Hexagone ;
- le double à Mayotte soit 5 000, 15 000, 67 000 et 200 000 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$;
- le triple en Guyane et dans les autres DROM insulaires soit 7 500, 22 500, 100 000 et 300 000 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$.

Pour évaluer la pression sur les débits d'étiage, le volume d'eau consommé dans le bassin versant est pondéré par l'intensité du débit d'étiage naturel. Les zonages utilisés pour distinguer les cours d'eau à étiage naturellement faible et fort proviennent du RHUM et du SYRAH-CE.

Pour évaluer la pression sur les débits annuels moyens, deux descripteurs complémentaires sont pris en compte :

- Les tronçons court-circuités (TCC) : les dérivations à vocation hydroélectrique constituent une pression majeure sur le module interannuel. Nous ne disposons toujours pas de données pour les renseigner mais ce descripteur est conservé en espérant qu'il pourra l'être à l'avenir. Nous attirons l'attention du lecteur sur le traitement particulier des descripteurs non renseignés tels que celui-ci dans le calcul des probabilités d'altérations (cf. § 4.4).
- La présence de canaux navigables en lit majeur : de manière plus générale, toutes les dérivations peuvent engendrer une pression significative sur le module interannuel. C'est notamment le cas des grands canaux latéraux dédiés à la navigation, d'où l'intégration de ce descripteur, dont certains alimentent d'ailleurs les usines hydroélectriques associées aux TCC. Les autres canaux ne sont pas pris en compte car la plupart ont peu d'impact (ex. : canaux de drainage, réseau d'alimentation des marais salants).

Précisons enfin qu'aucun des prélèvements renseignés par la BNPE n'est correctement géoréférencé en Martinique. Il est donc impossible à l'heure actuelle de les situer dans un bassin versant précis. Mais au regard de leur nom et de leur distribution spatiale approximative (localisation des prélèvements les uns par rapport aux autres), nous en avons déduit sur notre période de référence que 95% d'entre eux se situaient au nord de l'île et représentaient une consommation d'eau d'environ 42 000 m³/km²/an, tandis que 3% d'entre eux se situaient au sud et représentaient une consommation d'eau d'environ 1 300 m³/km²/an. Cette dichotomie nord/sud correspond au zonage des étiages naturellement forts/faibles. En effet, la ressource en eau comme les prélèvements d'eau se concentrent dans la partie nord de l'île. Nous nous sommes basés sur ces valeurs moyennes pour attribuer une classe par défaut aux descripteurs *Volume d'eau consommé dans le bassin versant* : forte au nord et faible au sud pour la pression sur le débit d'étiage, faible partout pour la pression sur le débit moyen.

3.5.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

La pression sur les débits d'étiage était globalement évaluée de la même manière dans SYRAH-CE et dans RHUM bien que les données exploitées et les méthodes de calcul variaient. Les descripteurs pris en compte étaient les suivants :

- l'importance des prélèvements d'eau, sur la base des volumes prélevés pour l'AEP et l'irrigation pour RHUM et de la densité des stations de pompage renseignées dans la BD Topo pour SYRAH-CE ;
- la présence et l'usage de barrages en amont, selon une hiérarchie semblable dans RHUM et SYRAH-CE (probabilité d'altération plus élevée si irrigation puis si AEP) ;
- l'importance des surfaces irriguées, à l'échelle du canton pour SYRAH-CE et du bassin versant pour RHUM ;
- la sévérité des étiages naturels.

La pression sur les débits moyens était évaluée différemment :

- dans SYRAH-CE, l'évaluation se basait exclusivement sur la présence des TCC, et déjà de manière théorique faute de données permettant de les identifier ;
- dans RHUM, c'est encore l'usage du ou des barrages amont qui était pris en compte, selon la même hiérarchie que pour le débit d'étiage (probabilité d'altération plus élevée si irrigation puis si AEP).

Le modèle SYRAH-CE considérait une 3^{ème} pression : « l'impact sur le débit des crues fréquentes ». Comme PRHYMO, le modèle RHUM intégrait déjà cette pression dans l'évaluation du paramètre *Hydrologie – Dynamique*. Il s'agit donc d'une première évolution pour l'Hexagone exclusivement.

La principale évolution par rapport aux 2 précédents dispositifs réside dans l'utilisation d'une banque de données nationale standardisée pour renseigner les prélèvements d'eau (la BNPE). Comparé à RHUM, cela permet notamment d'étendre le champ des usages pris en compte.

Par ailleurs, PRHYMO s'appuie sur le volume consommé alors que RHUM s'appuyait sur le volume prélevé et que SYRAH-CE disposait seulement d'une densité d'ouvrages de prélèvements. Tenir compte des volumes réellement consommés est apparu comme une nécessité dans la mesure où la majeure partie des eaux prélevées est restituée aux cours d'eau (environ 80%). Dans les grands bassins versants, cumuler les volumes prélevés sans tenir compte des restitutions conduirait à surestimer largement la pression jusqu'à considérer parfois que les prélèvements dépassent les volumes disponibles (lorsque la somme des volumes prélevés est supérieure au débit naturel). En revanche, le volume consommé néglige le déficit hydrique des tronçons situés entre le point de prélèvement des eaux et leur restitution.

L'intégration des canaux navigables en lit majeur, en complément des TCC, vise à tenir compte des principales dérivations.

Enfin, l'exclusion des surfaces irriguées est motivée par les raisons suivantes :

- la BNPE renseigne déjà les principaux prélèvements destinés à l'irrigation ;
- les eaux utilisées pour irriguer une parcelle proviennent parfois d'un autre bassin versant (ex. : canal de Provence, galerie Salazie amont à La Réunion) ;
- les périmètres irrigables ne sont pas toujours irrigués ;
- les données disponibles pour identifier les territoires irrigués sont anciennes ou imprécises (les meilleures données proviennent du recensement général agricole de 2020 et renseignent le pourcentage de surface agricole utile irriguée à l'échelle départementale).

3.6- Paramètre *Hydrologie – Dynamique*

3.6.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre élémentaire s'intéresse aux modifications de la distribution temporelle des écoulements, indépendamment de leur intensité moyenne. Il est évalué en considérant 3 échelles temporelles :

- le régime journalier ;
- le régime saisonnier (ou régime hydrologique) ;
- le régime des crues.

A l'échelle journalière et en dehors des épisodes de crues, les variations naturelles de débit sont faibles alors que les éclusées de certaines usines hydroélectriques génèrent de brusques variations du débit qui peuvent notamment entraîner une mortalité des poissons (par échouage-piégeage) et de leurs œufs (par exondation des frayères). L'altération du régime journalier des écoulements est donc évaluée en fonction de la présence d'ouvrages fonctionnant par éclusées en amont et par la présence d'une confluence majeure (i.e. entraînant un changement de rang de Strahler) entre ces ouvrages et le tronçon évalué car ces dernières réduisent l'impact des éclusées. Nous considérons une distance maximale de 10 USRA pour tenir compte des éclusées amont. Cette distance s'inspire des évaluations réalisées par les Agences de l'eau Adour-Garonne et Rhône-Méditerranée-Corse qui montrent que les éclusées ont généralement une influence sur 5 à 10 USRA mais qui peut aller bien au-delà dans quelques cas (Moor et al. 2014).

Le régime saisonnier correspond en fait au régime hydrologique défini par Pardé (1933) c'est-à-dire à la distribution annuelle des débits mensuels moyens. Il peut être modifié par les retenues d'eau artificielles qui stockent l'eau lorsque celle-ci est disponible en quantité pour éventuellement la restituer plus tard dans l'année. Sa probabilité d'altération est donc évaluée par les descripteurs suivants :

- Le volume d'eau stocké par les retenues rapporté à la superficie du bassin versant, en considérant 3 seuils de pression fixés à 3%, 10% et 30% du module interannuel spécifique. Les deux dernières valeurs étaient déjà utilisées par SYRAH-CE, seul le seuil inférieur a été révisé (nul à l'origine). Ils correspondent respectivement à :
 - o 10 000, 33 000 et 100 000 m³/km² dans l'Hexagone ;
 - o le double à Mayotte soit 20 000, 67 000 et 200 000 m³/km² ;
 - o le triple en Guyane et dans les autres DROM insulaires soit 30 000, 100 000 et 300 000 m³/km².
- L'usage dominant, c'est à dire l'usage qui utilise le plus grand volume dans le bassin versant. Comme SYRAH-CE, nous considérons que les usages les plus pénalisants sont l'irrigation puis

l'hydroélectricité : les grandes retenues destinées à la production hydroélectrique stockent en période de hautes eaux (été et/ou automne) puis restituent les eaux surtout en hiver, lorsque la demande en électricité est la plus forte ; les retenues destinées à l'irrigation stockent également en période de hautes eaux et ne restituent pas ou peu d'eau plus tard. Les autres usages représentent une 3^{ème} classe de moindre impact, à l'exception des retenues sèches des ouvrages écrêteurs de crues qui sont exclues car elles ne modifient pas la saisonnalité des écoulements (impact nul).

Le régime des crues représente l'intensité et la fréquence des crues. Nous nous intéressons ici aux crues morphogènes dont la période de retour est de l'ordre de 2 ans et dont l'altération se traduit par des ajustements de la morphologie du lit (élargissement ou rétrécissement du lit, incision, dégradation de la qualité des substrats, des rives et de la ripisylve, etc.). Il peut être altéré dans deux directions différentes : l'urbanisation favorise l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des crues alors que certains aménagements hydrauliques (retenues et dérivations) tendent à les diminuer. Les descripteurs pris en compte sont ainsi les suivants :

- Le taux d'imperméabilisation du bassin versant rend compte de l'influence de l'urbanisation en considérant deux seuils : 10% et 25%. Le 1^{er} seuil est rapporté par plusieurs auteurs comme une valeur minimale pour observer des ajustements morphologiques significatifs (Schueler 1995, Booth et Jackson 1997, Bledsoe et al. 2001).
- Le volume d'eau stocké par les retenues rapporté à la superficie du bassin versant (m^3/km^2), classé en utilisant des seuils définis de manière empirique sur la base d'un échantillon dont l'influence est connue :
 - o 2 000 et 7 000 m^3/km^2 dans l'Hexagone ;
 - o le double à Mayotte soit 4 000 et 14 000 m^3/km^2 ;
 - o le triple en Guyane et dans les autres DROM insulaires soit 6 000 et 21 000 m^3/km^2 .
- Les TCC, qui ne sont néanmoins pas renseignés. Nous attirons l'attention du lecteur sur le traitement particulier de ce descripteur dans le calcul des probabilités d'altération (cf. § 4.4).
- Le rang de Strahler, qui vise à nuancer l'effet des TCC car les retenues des barrages hydroélectriques peuvent avoir une influence très importante sur le régime des crues des petits cours d'eau (rang ≤ 3), moins sur les grands cours d'eau (rang ≥ 4).

3.6.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

SYRAH-CE et RHUM évaluaient ce paramètre principalement en fonction de l'influence des barrages.

Leur impact sur le régime saisonnier des écoulements était évalué en fonction :

- des volumes d'eau qu'ils stockaient, rapportés au module interannuel (SYRAH-CE) ou à la superficie du bassin versant (RHUM) ;
- et de leur usage dominant. SYRAH-CE considérait que les usages les plus pénalisants étaient l'irrigation puis la production hydroélectrique. RHUM considérait que l'usage le plus pénalisant était l'irrigation et que tous les autres usages représentaient une pression moindre dans la mesure où les retenues des barrages hydroélectriques ultra-marins ont une faible capacité.

Leur impact sur le régime journalier des écoulements était évalué en fonction :

- de la présence d'un barrage hydroélectrique de production de pointe en amont ;
- de la présence d'une confluence majeure entre le barrage et le tronçon évalué.

Les évaluations RHUM considéraient également l'impact sur le régime des crues alors que SYRAH-CE intégrait cet impact à l'évaluation du paramètre *Hydrologie – Quantité*. Mais les deux dispositifs l'évaluaient de la même manière, à travers les descripteurs suivants :

- le taux d'urbanisation du bassin versant ;
- la présence d'un barrage écrêteur de crue en amont.

En ce qui concerne le régime journalier, la structure du modèle d'évaluation PRHYMO est identique aux précédents dispositifs. Seule la distance utilisée pour tenir compte des ouvrages à écluses dans l'Hexagone a évolué (3 TGH pour SYRAH-CE, 10 USRA pour RHUM et PRHYMO).

En ce qui concerne le régime saisonnier, les différences sont minimales : le volume des retenues est ramené à la superficie des bassins versants comme dans RHUM ; les seuils utilisés pour discrétiser le volume stocké ont partiellement évolué ; la hiérarchie des usages dominants est celle utilisée par SYRAH-CE (irrigation > hydroélectricité > autres) mais elle était très proche de celle utilisée par RHUM (irrigation > autres).

En ce qui concerne le régime des crues, la seule évolution notable réside dans la prise en compte de toutes les retenues recensées, quel que soit leur usage. Leur influence est désormais évaluée en fonction de leur volume car de nombreuses retenues qui n'ont pas été construites pour écrêter les crues remplissent néanmoins cette fonction. Nous ignorons sur quels critères avaient été identifiés les ouvrages écrêteurs dans RHUM et SYRAH-CE.

3.7- Paramètre *Hydrologie – Connexion aux masses d'eau souterraine*

3.7.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre évalue le risque de déconnexion ou de modification des échanges entre les cours d'eau et leur nappe d'accompagnement. Son altération peut entraîner une dégradation de la qualité chimique et physico-chimique des eaux superficielles (moindre autoépuration et régulation de la température) et un assèchement des annexes fluviales (abaissement de la nappe suite à une incision du lit). Dans une certaine mesure, les échanges nappe-rivière contrôlent également la zone hyporhéique où nichent de nombreuses espèces (ex. invertébrés benthiques, espèces piscicoles présentant des comportements d'enfouissement).

Il est évalué à travers 4 descripteurs ou groupes de descripteurs :

- La lithologie dominante du fond de vallée détermine la sensibilité naturelle du cours d'eau à ce type d'altération. Le fond de vallée doit être à dominante alluviale pour considérer qu'il peut accueillir une nappe d'accompagnement. Dans le cas contraire, nous considérons que le paramètre élémentaire ne peut pas être altéré. Ce descripteur a été obtenu à partir des cartes géologiques (dans le cadre du RHUM en Outre-mer, recalculé dans le cadre de PRHYMO en Hexagone), sauf à Mayotte où l'on considère par défaut que la totalité des fonds de vallée sont susceptibles d'accueillir une nappe alluviale.
- Un déficit sédimentaire, nœud récurrent calculé à partir de 6 descripteurs (cf. § 3.4), peut entraîner une incision du lit du cours d'eau donc accroître le drainage de la nappe et abaisser son toit. Il a été préféré au nœud *Incision* pour ne pas faire intervenir deux fois la lithologie dominante du fond de vallée.
- Le colmatage des fonds, autre nœud récurrent qui dépend de 3 à 6 descripteurs (cf. § 3.3), peut également limiter les échanges entre la rivière et sa nappe, en particulier si les fonds sont bétonnés.

- Le taux d'étagement du tronçon rend compte de la proportion du linéaire ennoyée par les ouvrages transversaux (remous liquide à l'étiage) où l'élévation des lignes d'eau superficielles modifie encore les échanges avec la nappe. Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 1 m sont exclus car leur influence est négligeable.

3.7.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

La lithologie dominante du fond de vallée était déjà prise en compte par les précédents modèles pour tenir compte de la sensibilité des tronçons à l'altération de ce paramètre élémentaire mais les autres descripteurs utilisés ont sensiblement évolué.

RHUM ne considérait que deux types de pressions : celles qui concourent au colmatage des fonds et à l'incision du lit. Le taux d'étagement n'était pas pris en compte mais l'influence des grands barrages l'était à travers le colmatage (influencé par la présence de barrage en aval). Les évolutions des nœuds *Colmatage* et *Incision* sont globalement modérées (cf. § 3.3.2 et 3.4.2).

SYRAH-CE n'intégrait pas le risque de colmatage. Il intégrait bien le risque d'incision mais seulement à partir de la présence de barrages en amont, de la rectitude du tracé et de la présence de plans d'eau déconnectés (du lit mineur) dans le lit majeur. Et il considérait que le caractère navigable des tronçons constituait une pression supplémentaire du fait de leurs possibles endiguements et dragages d'entretien. PRHYMO repose sur un modèle plus complexe qui tient compte notamment du taux d'étagement, de l'urbanisation, de la densité de haies, des fonds bétonnés et des curages (cf. § 3.4).

3.8- Paramètre *Continuité biologique pour les amphihalins*

3.8.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre évalue les pressions sur la circulation des espèces amphihalines, essentiellement pour les poissons et les macro-crustacés (ex. : alose, anguille, caridine, chevrete, gobie, kuhlie, lamproie, mulot, saumon, etc.). Il est donc centré sur la connexion du tronçon évalué avec la mer ou l'océan. Cette connexion est essentiellement menacée par les ouvrages transversaux qui tendent à limiter voire à empêcher la migration donc le cycle de vie de ces espèces.

Les trois descripteurs suivants sont pris en compte sur tous les territoires :

- La hauteur maximale des obstacles en aval rend compte de la pression exercée par effet barrière par le plus grand ouvrage en aval du tronçon. Nous distinguons 4 classes adaptées de Baudoin et al. (2014) et Kreutzenberger et al. (2019, 2025), définissant les capacités de franchissement des cortèges d'espèces rencontrés et les impacts associés des obstacles dans chaque grand territoire (Hexagone, Outre-mer) :
 - impact négligeable : < 0,15 m ;
 - impact limité : ≥ 0,15 m ;
 - impact significatif ¹ : ≥ 1,75 m dans l'Hexagone et ≥ 2 m en Outre-mer ;
 - infranchissable ² : ≥ 10 m dans l'Hexagone et ≥ 25 m en Outre-mer.

¹ L'obstacle réduit la franchissabilité une grande partie du temps et/ou pour une part significative du cortège d'espèces et des groupes taxonomiques considérés.

² L'obstacle est infranchissable pour la totalité ou quasi-totalité du cortège d'espèces et des groupes taxonomiques considérés. Il est toutefois possible que, dans des conditions exceptionnelles, l'obstacle se révèle momentanément franchissable pour une fraction de la ou des populations.

- Le taux d'étagement des tronçons aval (somme des hauteurs de chute divisée par le dénivelé total de ces tronçons) témoigne de l'impact cumulé de tous les obstacles à franchir tout en tenant compte de la pente naturelle des tronçons. Il est une représentation des modifications hydrauliques et des conditions d'habitats liées aux ouvrages transversaux induites par effet retenue (ennoisement, basculement vers un écosystème lentique, etc.). En effet, pour une hauteur d'ouvrage donnée, la longueur de sa retenue diminue avec la pente ce qui en facilite le franchissement. Par ailleurs, un ouvrage de taille modeste peut représenter une pression significative sur un tronçon à pente faible alors qu'il aura un impact relativement faible sur un tronçon où se succèdent des chutes naturelles. Dans une certaine mesure, ce descripteur intègre donc à la fois le niveau de la pression exercée par les ouvrages et la sensibilité naturelle des cours d'eau (accessibilité aux espèces). Explicité méthodologiquement par Berthier et Steinbach (2016), sa complémentarité aux autres descripteurs a été étudiée par Miguet (2017) : les classes (< 10%, ≥ 10% et ≥ 30%) s'inscrivent dans les objectifs portés par les SDAGE Seine-Normandie et Loire-Bretagne, lesquels citent pour références les études de Chaplais (2010) ou encore Letourmy (2012).
- La densité d'obstacles en aval représente le nombre d'ouvrages par unité de longueur. Elle s'exprime donc en km^{-1} . Ce descripteur est complémentaire aux précédents car il permet de tenir compte du nombre d'ouvrages se succédant depuis la mer ou l'océan. Lorsque les 2 autres descripteurs sont faibles, le risque d'altération augmente à mesure que la densité d'obstacles augmente car les franchissements successifs de petits ouvrages favorisent l'épuisement des individus ou les retards dans leur cycle de reproduction (Baudoin et al. 2014 ; Kreutzenberger et al. 2019, 2025). Mais, à l'inverse, une densité faible associée à un taux d'étagement élevé augmente le risque d'altération car cela signifie que les difficultés de franchissement se concentrent sur quelques obstacles particulièrement limitants voire sur un seul.

En Guyane, le modèle d'évaluation tient compte d'un 4^{ème} descripteur : la présence d'activité légale d'orpaillage en aval. Cette activité se traduit généralement par un profond remaniement de la crique et la suppression du couvert végétal (déplacement par rapport au talweg, rectification, recalibrage, rehaussement par des merlons, suppression d'annexes ; Kreutzenberger et al. 2019). Il en résulte une diminution du tirant d'eau et des capacités de débordements, ainsi qu'une altération des qualités chimiques et physico-chimiques (augmentation de la teneur en matières en suspension, augmentation des températures de surface et de l'eau, pollutions, etc.), qui constituent autant d'obstacles aux continuités biologiques (Kreutzenberger et al. 2025). A l'heure de notre étude, l'inventaire des sites d'orpaillage illégaux n'était pas librement accessible hors services de l'Etat, et nécessite certaines précautions d'usage et réflexions quant à son intégration, lesquelles ont été amorcées (cf. § 3.4.2). Les pêcheries de bichiques, traditionnelles et rencontrées régulièrement à La Réunion, n'ont pas été intégrées à cette première version de PRHYMO : elles doivent faire l'objet d'une évaluation spécifique préalable, notamment pour évaluer le taux réel de franchissement au droit de ces dernières (Kreutzenberger et al. 2019). L'insertion dans PRHYMO de l'activité « pêche », lorsque celle-ci est située aux embouchures et interroge le sujet de la continuité des amphihalins, nécessite en tous les cas une réflexion globale quant aux objectifs ; cette activité se retrouve en effet sous diverses formes et/ou pour d'autres espèces dans la plupart des territoires.

Précisons que l'expression « en aval » n'implique aucune limite de distance sur le territoire national : tous les obstacles présents entre le tronçon évalué (inclus) et la mer, l'océan ou une frontière avec un pays voisin sont pris en compte. En revanche, le calcul des 3 premiers descripteurs ne prend en compte que les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est supérieure ou égale à 0,15 m.

3.8.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Le modèle SYRAH-CE reposait sur les descripteurs suivants :

- densité d'obstacles en aval pondérée par la pente ;
- présence d'un barrage de plus de 15 m en aval.

Celui du RHUM reposait, pour la plupart des DROM, sur les suivants :

- densité d'obstacles en aval ;
- pente du lit ;
- présence d'un barrage infranchissable en aval, en considérant 2 à 3 classes de franchissabilité selon le territoire :
 - En Guyane, le modèle considérait 3 classes en fonction de la hauteur de chute : franchissable si < 2 m, partiellement franchissable entre 2 et 20 m, totalement infranchissable si > 20 m.
 - Ailleurs, le modèle ne distinguait que 2 classes renseignées à dire d'expert : infranchissable ou franchissable.

Un modèle spécifique avait été utilisé pour La Réunion. Il utilisait 2 indices de franchissabilité déduits d'un diagnostic réalisé sur les 13 rivières pérennes :

- indice d'impact des ouvrages aval sur la montaison ;
- indice d'impact des ouvrages aval sur la dévalaison.

Dans PRHYMO, le taux d'étagement remplace la densité d'obstacles pondérée par la pente (SYRAH-CE) ou le couple densité d'obstacles – pente du lit (RHUM). Il rend mieux compte de l'effet retenue généré par les obstacles car il tient de leur hauteur de chute.

La hauteur maximale des obstacles remplace la présence d'un barrage de plus de 15m (SYRAH-CE) ou la présence d'un barrage infranchissable (RHUM). Le principe est identique mais les seuils déterminant la franchissabilité ont évolué. Ils sont désormais plus nombreux (4 classes) et s'inspirent des méthodes diagnostics développées pour chaque territoire (Baudoin et al. 2014 ; Kreutzenberger et al. 2019, 2025) et des références qu'elles incluent.

PRHYMO considère enfin 1 à 2 descripteurs complémentaires : l'impact de l'orpaillage légal pour la Guyane et la densité d'obstacles qui permet, comme expliqué dans la section précédente, de tenir compte de la succession d'ouvrages.

3.9- Paramètre *Continuité biologique de proximité*

3.9.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre évalue les pressions sur la circulation des espèces potamodromes à l'échelle de quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres, laquelle conditionne leur accès à une quantité et une qualité d'habitats suffisantes à leur cycle de vie et au maintien des communautés.

Il repose sur les mêmes descripteurs que le précédent paramètre élémentaire (*Continuité biologique pour les amphihalins*) mais ces derniers sont calculés à une échelle différente. Les pressions prises en compte se limitent ici aux tronçons environnants à raison de 5 USRA en amont et 5 USRA en aval. De plus, le nombre de classes et la valeur des bornes entre les classes évoluent quelque peu.

Les 3 descripteurs suivants sont ainsi pris en compte sur tous les territoires :

- La hauteur maximale des obstacles autour du tronçon en distinguant 4 classes, toujours adaptées de Baudoin et al. (2014) et Kreutzenberger et al. (2019, 2025), mais en partie différentes des précédentes car les capacités de franchissement des nombreuses espèces potamodromes de Guyane à ce jour documentées (majoritaires sur le territoire, plus de 400 espèces inventoriées), présentent des similitudes avec celles de l'Hexagone :
 - impact négligeable : $< 0,15$ m ;
 - impact limité : $\geq 0,15$ m ;
 - impact significatif : ≥ 1 m dans l'Hexagone comme en Guyane et $\geq 1,15$ m dans les DROM insulaires ;
 - infranchissable : ≥ 10 m dans l'Hexagone comme en Guyane et ≥ 25 m dans les DROM insulaires.
- Le taux d'étagement autour du tronçon conserve les mêmes classes ($< 10\%$, $\geq 10\%$ et $\geq 30\%$).
- La densité d'obstacles autour du tronçon distingue désormais une 4^{ème} classe correspondant à une pression nulle (aucun obstacle). Les classes définies sont par ailleurs un compromis entre la connaissance actuelle de la pression « obstacles en cours d'eau » (1 obstacle inventorié en moyenne tous les 5 km en France ; Antoni et al. 2020) et les potentiels migratoires documentées pour les espèces potamodromes (Ovidio et Philippart 2002, De Leeuw and Winter 2008, Panchan et al. 2022).

En Guyane, le modèle d'évaluation tient compte de la présence d'activités légales d'orpaillage autour du tronçon, pointant les mêmes atteintes aux criques que précédemment.

3.9.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Les modèles SYRAH-CE et RHUM étaient quasiment identiques et ne prenaient en compte que deux descripteurs :

- la densité d'obstacles pondérée par la pente, calculée à l'échelle de l'USRA ;
- la présence d'un barrage dans 1 TGH amont et 2 TGH aval (SYRAH-CE) ou dans 1 USRA amont et 1 USRA aval (RHUM).

RHUM n'évaluait ce paramètre qu'en Guyane, considérant que les espèces potamodromes comme peu nombreuses dans les DROM insulaires.

PRHYMO évalue ce paramètre élémentaire dans tous les territoires, considérant la complémentarité entre celui-ci, qui s'intéresse au cloisonnement interne au cours d'eau, et le précédent paramètre élémentaire, qui concerne l'isolement du cours d'eau à la mer ou à l'océan (*Continuité biologique pour les amphihalins*). Le dispositif appréhende ainsi mieux les risques d'atteintes à la libre circulation des individus pour l'ensemble des cortèges d'espèces (poissons, macro-crustacés mais aussi les groupes taxonomiques pour lesquels peu de références existent tels que les macroinvertébrés ou les diatomées) à différentes échelles spatiales.

Les autres évolutions par rapport aux anciens dispositifs sont les suivantes :

- Le taux d'étagement remplace la densité d'obstacles pondérée par la pente pour tenir compte de la hauteur de chute des ouvrages.
- La hauteur maximale des obstacles, déclinée en 4 classes, remplace la présence d'un barrage qui, outre ses modalités binaires (absence ou présence), négligeait les autres types d'ouvrage (seuils notamment).

- PRHYMO considère enfin 1 à 2 descripteurs complémentaires : l'impact de l'orpaillage légal pour la Guyane et la densité d'obstacles qui permet, comme expliqué dans la section précédente, de tenir compte de la succession d'ouvrages.

3.10- Paramètre *Continuité latérale*

3.10.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre s'intéresse à la connexion du cours d'eau avec sa ripisylve, ses annexes fluviales et son lit majeur. Outre la circulation des espèces entre ces milieux, la continuité latérale contrôle le débordement de crues, la fourniture sédimentaire par érosion des berges, le renouvellement de la bande active et des milieux riverains. Son affaiblissement peut donc entraîner diverses altérations telles que l'homogénéisation des faciès d'écoulement, la dégradation des substrats ou le « vieillissement » des habitats riverains (évolution de la ripisylve vers une forêt de bois durs, assèchement des bras morts).

Il est évalué à travers 3 descripteurs ou groupes de descripteurs :

- Le nœud *Contraintes latérales* rend compte des pressions exercées par les aménagements riverains (cf. § 3.2.1).
- Le nœud *Incision* rend compte d'un éventuel enfoncement du lit mineur qui diminue sa capacité à divaguer ainsi que la fréquence des débordements en lit majeur (cf. § 3.4.1).
- Le taux d'étagement du tronçon représente la somme des hauteurs de chute des ouvrages transversaux divisée par le dénivelé total de ces tronçons. Il rend compte ici de l'influence des retenues qui modifient le fonctionnement hydraulique du tronçon donc la dynamique latérale voire les débordements en lit majeur. Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 1 m sont exclus car leur influence est négligeable.

3.10.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Les deux principaux types de pressions, celles qui constituent des contraintes latérales et celles qui contribuent à l'incision du lit, étaient déjà pris en compte dans les précédents dispositifs mais de manière sensiblement différente. Leurs évolutions sont décrites dans les sections dédiées à ces nœuds récurrents (cf. § 3.2.2 et 3.4.2) mais nous soulignerons ici les points suivants :

- Les données utilisées pour évaluer la présence de contraintes latérales sont plus nombreuses dans PRHYMO. Mais il s'agit essentiellement d'une évaluation par proxy car il n'existe pas de source de données nationale sur les digues et ouvrages de protection de berges. Nous avons préféré exclure les lignes orographiques de la BD Topo, utilisées par SYRAH-CE pour évaluer la présence de digues, car cette couche ignore un très grand nombre de digues et les formes linéaires considérées comme telles n'en sont pas toujours (talus).
- L'évaluation du risque d'incision intègre désormais les curages, l'influence de l'urbanisation et la lithologie dominante du fond de vallée. Mais elle exclut en particulier la présence en lit majeur de gravières ou de carrières.

Comme PRHYMO, RHUM prenait en compte l'influence des retenues, ce qui n'était pas le cas du SYRAH-CE. RHUM considérait à cet effet la présence de barrages en aval et la pente du lit. La pente visait à pondérer l'influence des barrages car, pour une hauteur de chute donnée, la longueur de la retenue diminue proportionnellement à la pente. Dans PRHYMO, le taux d'étagement permet désormais de calculer la proportion du linéaire influencée par les retenues (remous liquide à l'étiage).

3.11- Paramètre *Continuité sédimentaire*

3.11.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre élémentaire évalue le risque de blocage ou de ralentissement des flux solides ainsi que leur conséquence sur l'équilibre morphodynamique des tronçons aval. Une discontinuité des flux solides se traduira en aval par un déficit en alluvions qui entraînera à son tour diverses altérations telles qu'une dégradation des substrats, une incision du lit, un drainage accru de la nappe d'accompagnement, un assèchement des annexes fluviales, etc.

Le modèle reprend donc les 3 principaux descripteurs utilisés par les nœuds récurrents *Déficit sédimentaire* et *Incision* :

- Le taux de bassin versant intercepté par les grands barrages représente le pourcentage surfacique du bassin situé en amont des ouvrages susceptibles de bloquer la totalité de charge solide grossière (charge de fond), ce qui se traduit par une diminution de la fourniture sédimentaire des tronçons aval. Les « grands barrages » ont été identifiés de manière empirique en tenant compte de la taille et de la pente des cours d'eau (une hauteur de chute et une longueur de retenue minimales sont nécessaires pour considérer que l'ouvrage est totalement bloquant ; ces valeurs augmentent avec le rang de Strahler ; pour un rang donné et une hauteur de chute donnée, ces critères sont de plus en plus restrictifs à mesure que la pente augmente car la longueur de la retenue diminue).
- Le taux d'étagement des tronçons amont représente la somme des hauteurs de chute des ouvrages transversaux divisée par le dénivelé total de ces tronçons. Il rend compte du ralentissement du transit sédimentaire généré par ces ouvrages du fait de la dissipation de l'énergie potentielle des écoulements. Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 1 m sont exclus du calcul car leur influence en crue est négligeable.
- Les travaux de curage réalisés sur le tronçon ou en amont proche génèrent un déficit sédimentaire du tronçon traité et une possible érosion progressive sur les tronçons aval. Le risque d'érosion régressive est négligé car les curages d'entretien n'ont théoriquement pas vocation à surcreuser le lit mais à le maintenir à un niveau acceptable pour les usages riverains en rétablissant artificiellement l'équilibre sédimentaire local (ex. : accumulation en queue de retenue de barrage). Cette pression n'est renseignée qu'en Martinique. Pour les autres territoires, nous attirons l'attention du lecteur sur le traitement particulier des descripteurs non renseignés tels que celui-ci dans le calcul des probabilités d'altération (cf. § 4.4).

Les autres descripteurs intervenant dans les nœuds *Déficit sédimentaire* et *Incision* (urbanisation, rectification, orpaillage) ne rendent pas compte d'une discontinuité du transport solide mais d'un autre type de pression (ex. : augmentation de la pente du lit pour la rectification).

3.11.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Les évolutions sont relativement nombreuses et ont déjà été décrites pour l'essentiel dans la section dédiée aux nœuds *Déficit sédimentaire* et *Incision* (cf. § 3.4.2). L'exclusion de la surlargeur des grands cours d'eau, utilisée par le modèle SYRAH-CE, est également justifiée dans la section dédiée au nœud *Colmatage* (cf. § 3.3.2).

Le modèle PRHYMO est plus simple car il ne repose plus que sur 3 descripteurs.

Les 2 premiers représentent mieux les pressions générées par les ouvrages amont dans la mesure où ils tiennent compte de la hauteur de chute des ouvrages (taux d'étagement) et de l'influence des grands barrages qui peuvent déconnecter une proportion significative des sources sédimentaires amont même s'ils ne sont pas implantés à proximité du tronçon évalué (taux de bassin versant intercepté par les grands barrages).

Le 3^{ème} rend compte de la principale pression de type « extraction de matériaux » qui demeure sur quelques cours d'eau : les curages d'entretien. Ce descripteur était déjà intégré aux modèles RHUM pour la Martinique, la Guadeloupe et Mayotte. Mais il n'était renseigné qu'en Martinique et c'est encore le cas dans PRHYMO.

A La Réunion, le modèle RHUM se distinguait de celui des autres territoires car il reposait en grande partie sur un indice d'impact déduit d'une classification experte de chaque ouvrage, comme pour les continuités biologiques mais appliqué au transport solide. PRHYMO ne considère plus qu'un modèle unique pour tous les territoires.

3.12- Paramètre *Morphologie – Structure et substrat du lit*

3.12.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre élémentaire évalue 3 types d'altérations :

- le colmatage minéral des fonds qui se traduit notamment par une diminution de la qualité des substrats et des échanges entre les écoulements superficiels et la zone hyporhéique ;
- le déficit sédimentaire qui peut se traduire par une incision du lit, une diminution de l'épaisseur du matelas alluvial et une dégradation des substrats (pavage, affleurements rocheux, déficit en graviers) ;
- la modification des faciès d'écoulement qui se traduit souvent par une homogénéisation du type de faciès (chenalisation, ennoisement, rectification).

Les 2 premiers types d'altération sont respectivement évalués par les nœuds *Colmatage* (§ 3.3.1) et *Déficit sédimentaire* (§ 3.4.1). La modification des faciès d'écoulement est évaluée grâce au nœud et aux descripteurs suivants :

- Le nœud *Rectification*, déduit de la rectitude du tracé et de la pente (§ 3.1.1). Un tracé en plan rectiligne nuit à la diversité des faciès d'écoulements et, en augmentant la pente du lit, favorise les faciès lotiques. De plus, les tronçons rectifiés sont généralement des tronçons recalibrés avec une géométrie en travers homogène voire surdimensionnée.
- Le taux de chenalisation du tronçon correspond à la proportion du tronçon classée comme canal, chenal, conduit busé ou écoulement canalisé dans la BD Topo dans l'Hexagone ou la BD Carthage en Outre-mer.
- Le taux d'étagement du tronçon représente la proportion de son linéaire ennoyée par les ouvrages transversaux (remous liquide à l'étiage). Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 0,15 m sont exclus car leur influence est négligeable.
- La présence de sites d'orpillage légaux, en Guyane, qu'ils soient encore en activité ou non. Des précisions relatives au type d'activités prises en compte sont fournies en § 3.4.2. et 3.8.1.

3.12.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

Un grand nombre de descripteurs interviennent dans l'évaluation de ce paramètre élémentaire.

Dans RHUM, ils étaient déjà organisés autour de ces 3 types d'altérations : incision du lit, colmatage des fonds et modification des faciès d'écoulement. Le nœud *Incision* du RHUM s'apparentait en fait au nœud *Déficit sédimentaire* de PRHYMO car il ne tenait pas compte de la lithologie dominante du fond de vallée.

Il en était quasiment de même dans SYRAH-CE si ce n'est que le déficit sédimentaire se déclinait en 2 sous-types d'altérations : la diminution de l'épaisseur de sédiments et la modification de la structure granulométrique. Précisons que cette dernière visait à évaluer le « déficit de la portion la plus grossière de la charge sédimentaire en transit » (Valette et al. 2012). Ces altérations sont néanmoins difficilement dissociables et relèvent des mêmes pressions.

Les évolutions spécifiques à l'évaluation du colmatage et du déficit sédimentaire sont développées dans les sections précédentes (§ 3.3.2 et 3.4.2). Les évolutions spécifiques à l'évaluation de la modification des faciès d'écoulements sont les suivantes :

- Le taux d'étagement remplace la densité d'obstacles pondérée par la pente et la présence de plans d'eau sur le réseau hydrographique utilisées par SYRAH-CE comme par RHUM. Il remplace également la présence de barrage en aval utilisé uniquement par RHUM. Cela permet de tenir compte de la hauteur de chute des ouvrages et d'exclure les plans d'eau naturels.
- La rectification était déjà utilisée par RHUM. Elle remplace la rectitude utilisée par SYRAH-CE qui ne tenait pas compte de la pente du lit pour filtrer les tronçons naturellement rectilignes (cf. § 3.1.2).
- La puissance potentielle des cours d'eau était utilisée par SYRAH-CE pour tenir compte de leur capacité d'auto-ajustement qui leur confère une certaine résilience. Elle est exclue car il s'agit en fait d'une puissance totale des écoulements adimensionnelle (divisée par la superficie du bassin versant ; cf. § 3.3.2). La pente du lit est un meilleur descripteur et elle intervient à deux reprises dans le modèle PRHYMO : dans le nœud *Rectification* et dans le calcul du taux d'étagement.
- Le débit solide observé, déterminé en fonction de la densité de bancs alluviaux exondés, était utilisé aux mêmes fins par SYRAH-CE. Une forte densité de bancs témoigne bien d'une certaine diversité des faciès d'écoulement mais il s'agit d'un descripteur d'état qui ne rend pas compte de l'intensité des pressions. Autrement dit, le fait qu'il subsiste des bancs exondés ne signifie pas que les faciès n'ont pas été altérés. Par ailleurs, il est difficile d'actualiser ce descripteur qui reposait sur un grand nombre de mesures réalisées avant 2010 et ne représentait par ailleurs qu'un échantillon des cours d'eau de l'Hexagone. Il est donc exclu.
- RHUM intégrait un descripteur supplémentaire spécifique à La Réunion qui reposait sur les indices de contraction attribués aux ouvrages des 13 rivières pérennes. Nous disposons de peu d'informations sur la signification de ce descripteur mais il concernait peu de cours d'eau et il s'apparente vraisemblablement à un descripteur d'état, ce qui pose le problème de son actualisation. Il est donc exclu.
- Enfin, le taux de chenalisation et, exclusivement pour la Guyane, la présence d'activités légales d'orpaillage n'étaient pas pris en compte dans les précédents dispositifs.

3.13- Paramètre *Morphologie – Variation de la profondeur et de la largeur du lit*

3.13.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre élémentaire évalue les modifications de la section en travers et leurs conséquences sur la distribution des écoulements au sein de cette section (géométrie hydraulique à la station). Un élargissement du lit mineur entrainera par exemple une diminution de la hauteur d'eau en période d'étiage. Un approfondissement du lit, qu'il soit consécutif à l'abaissement du fond (ex. : incision) ou à la rehausse des berges (ex. : endiguement), se traduira par une augmentation de la hauteur et de la vitesse moyenne des écoulements en crue. Outre l'évolution des largeurs et profondeurs moyennes, l'homogénéisation des sections en travers diminue la diversité des habitats aquatiques.

Nous l'évaluons en distinguant 3 groupes de pressions :

- Celles qui contribuent à l'incision du lit, donc à une augmentation de la profondeur à pleins bords et une diminution de la largeur à pleins bords. Nous ne reviendrons pas sur la description du nœud récurrent *Incision* (cf. § 3.3.1).
- Celles qui contribuent à l'artificialisation du lit mineur :
 - Le nœud *Rectification*, déduit de la rectitude du tracé et de la pente du lit (§ 3.1.1).
 - Le taux de chenalisation du tronçon qui correspond à la proportion du tronçon classée comme canal, chenal, conduit busé ou écoulement canalisé dans la BD Topo dans l'Hexagone ou la BD Carthage en Outre-mer.
 - Le taux d'étagement du tronçon qui représente la proportion de son linéaire ennoyée par les ouvrages transversaux (remous liquide à l'étiage). Pour ce paramètre, les ouvrages dont la hauteur de chute à l'étiage est inférieure à 0,15 m sont exclus car leur influence est négligeable.
 - La navigabilité du tronçon, d'après la BD Topo qui renseigne les voies inscrites à la nomenclature des voies navigables (IGN 2022).
 - Les « fonds bétonnés » (nom des couches utilisées dans RHUM et réutilisées dans PRHYMO) qui correspondent à des linéaires de cours d'eau totalement artificialisés, sur le fond du lit comme sur les berges (**figure 14**).
- Celles qui contribuent à l'artificialisation des terrains à proximité du lit mineur :
 - Le taux d'aménagements à proximité du lit mineur rend compte de la présence d'aménagements dans un rayon de 1,5 fois la largeur théorique à pleins bords autour de la polyligne représentant l'axe du cours d'eau (emprise du buffer3W ; **figure 13** et § 3.2.1). Rappelons que les activités légales d'orpillage sont prises en compte pour la Guyane et que les digues sont prises en compte lorsqu'elles sont renseignées dans une couche spécifique, ce qui est le cas en Martinique et à La Réunion.
 - Le taux de surfaces agricoles à proximité du lit mineur car les petits cours d'eau ont souvent été recalibrés pour limiter les inondations et/ou favoriser le drainage.
 - Le rang de Strahler pondère l'influence des surfaces agricoles en considérant que seuls les petits cours d'eau (rang ≤ 3) sont susceptibles d'avoir été recalibrés.

3.13.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

SYRAH-CE distinguait 2 types d'altérations : la réduction de la profondeur à l'étiage et l'augmentation de la profondeur en crue. RHUM distinguait 3 types d'altérations : la réduction de la profondeur à l'étiage, l'augmentation de la profondeur par ennoïement, la contraction du lit (en différenciant le rétrécissement volontaire de la largeur et la contraction consécutive à son incision). PRHYMO ne distingue plus ces types d'altérations car la plupart des pressions concourent à la fois à modifier la largeur et la profondeur du lit, de même qu'elles tendent à homogénéiser les sections en travers. Par ailleurs, une même pression peut favoriser deux tendances inverses selon le contexte (ex. : en milieu urbain, on constate parfois un rétrécissement du lit visant à réduire son emprise ou un élargissement du lit visant à réduire les inondations).

En revanche, la plupart des descripteurs sont repris dans PRHYMO même s'ils sont parfois calculés en utilisant des données et/ou des méthodes légèrement différentes. Les descripteurs suivants font exception :

- La surlargeur et la sous-largeur des cours d'eau, appliquées aux tronçons de rang ≥ 4 dans SYRAH-CE et RHUM respectivement, sont exclues car nous estimons que ces descripteurs sont peu fiables. A l'échelle d'une USRA, une largeur moyenne significativement plus faible ou plus élevée a de fortes chances de provenir d'une fluctuation naturelle – et bienvenue – de la largeur du lit par rapport aux USRA voisines. Alors que les modifications artificielles ponctuelles (ex. : plage de dépôt) ne seront pas détectées.
- Le taux d'étagement remplace la présence de barrage en aval et/ou en amont. Il permet de tenir compte de la hauteur de chute des ouvrages.
- Les descripteurs impliqués dans le nœud *Incision* ont sensiblement évolué (cf. § 3.4.2).

3.14- Paramètre *Morphologie – Structure de la rive*

3.14.1- Evaluation selon PRHYMO

Ce paramètre évalue notamment les pressions sur la ripisylve et les nombreuses fonctions qu'elle exerce (liste non exhaustive) : la fonction de trame verte des cours d'eau à travers la présence d'un corridor boisé, la diversité des habitats générés par le bois mort et le système racinaires des arbres en berges, l'influence du couvert végétal riverain sur la température de l'eau et le développement de la végétation aquatique (algues), la diminution des pollutions diffuses par son rôle de zone tampon et de filtre végétal (Lind et al. 2019). Outre la ripisylve, la structure de la rive témoigne également de la connectivité latérale entre milieux aquatiques et riverains que l'on peut concevoir comme la continuité latérale à une échelle plus fine. Une berge haute, abrupte et maçonnée n'aura pas la même influence sur les habitats et sur la circulation des espèces qu'une berge naturelle en pente douce.

Son degré d'altération est approché à travers 2 groupes de descripteurs :

- Ceux qui témoignent d'une dégradation de la ripisylve :
 - o Le taux de boisement 10 m de part et d'autre autour du cours d'eau, soit la largeur approximative d'un simple cordon rivulaire (un rideau d'arbres).
 - o Le taux de boisement 30 m ou 60 m de part et d'autre autour du cours d'eau, qui témoigne de la présence d'une ripisylve un peu plus large. La distance de 30 m est appliquée partout sauf en Guyane où les forêts marécageuses, ripicoles ou « de flat » représentent des formations aux enjeux écologiques majeurs sur de plus grandes étendues (Lapierre 2014, Kreutzenberger et al. 2025).

- La position de l'USRA par rapport à l'altitude maximale de la végétation arborée, qui tient compte de l'absence naturelle de ripisylve au-delà d'une certaine altitude dans l'Hexagone. Les limites altitudinales ont été définies par SYRAH-CE et varient selon les massifs montagneux : 2100 m dans les Alpes du Sud, 2000 m dans les Alpes du Nord, 1800 m dans les Pyrénées, 1500 m dans le Massif Central et 1200 m dans les Vosges.
- Ceux qui témoignent d'une artificialisation de la rive :
 - Le nœud *Contraintes latérales* qui rend compte des pressions exercées par les aménagements riverains (cf. § 3.2.1).
 - Le nœud *Rectification*, déduit de la rectitude du tracé et de la pente (§ 3.1.1), car les berges des tronçons rectifiés sont peu naturelles (endiguement, berge haute et/ou abrupte, défrichement régulier de la végétation).

3.14.2- Evolutions par rapport aux précédents dispositifs

SYRAH-CE et RHUM évaluaient le degré d'artificialisation de la rive en fonction de la présence de voies de communication et du taux de surfaces urbaines à proximité du lit mineur. PRHYMO prend en compte davantage de pressions telles que les fonds bétonnés, les quais, les bassins portuaires ou encore le taux de chenalisation du tronçon.

SYRAH-CE et RHUM évaluaient la présence de ripisylve en fonction des polygones de « zone arborée » de la couche « zone de végétation » de la BD Topo. Or il s'agit de la classe par défaut qui regroupe toutes les formes de végétation arborée, y compris les cultures (ex. : vignes, vergers, bananeraies, cannes à sucre), lorsque la nature des formations végétales n'est pas connue. Faute de mieux, PRHYMO utilise la même couche d'information pour la Guyane et pour l'Hexagone mais la version 3.0 de la BD Topo précise désormais le type de végétation arborée, ce qui permet d'exclure les cultures. Sur les autres territoires, des données plus précises sont utilisées : OCS-GE en Martinique et à Mayotte, Karucover en Guadeloupe, une cartographie établie par le CIRAD à La Réunion.

Ces deux dernières évolutions concernent essentiellement le type de données utilisées. La structure du modèle PRHYMO est en fait identique à celle du modèle SYRAH-CE mais diffère de celles des modèles RHUM. Premièrement, RHUM ne considérait qu'une seule distance de recherche de la ripisylve (30 m). Deuxièmement, RHUM évaluait un risque d'altération des mangroves en complément du risque d'altération de la ripisylve dans les DROM insulaires. Les pressions prises en compte étaient néanmoins à peu près les mêmes dans les deux cas. PRHYMO ne fait plus cette distinction. Les mangroves ne sont pas exclues de l'évaluation de ce paramètre élémentaire mais celui-ci il est évalué de la même manière pour tous les cours d'eau, que l'on soit en tête de bassin ou à l'embouchure, dans un secteur propice au développement d'une mangrove ou à d'autres formations végétales riveraines.

4- Calculs des pressions et des probabilités d'altération

Ce chapitre décrit d'abord les trois principales étapes de calculs :

- le calcul des pressions (§ 4.1) ;
- le calcul des probabilités (ou risques) d'altération (§ 4.2) ;
- leur agrégation aux échelles supérieures (§ 4.3).

Il explique ensuite comment sont prises en compte les données manquantes dans l'évaluation des probabilités d'altération (§ 4.4).

4.1- Calculs des pressions

Les pressions sont exclusivement calculées à l'échelle de l'USRA.

Cette étape repose sur des traitements géomatiques plus ou moins complexes qui font intervenir différentes couches intermédiaires en plus du réseau des USRA et des données pressions (et des éventuels contrôles géomorphologiques ou descripteurs d'état) :

- un jeu de zones tampons (§ 4.1.1) ;
- des unités spatiales d'intégration (§ 4.1.2) ;
- des remous liquides (§ 4.1.3) ;
- des réseaux coulants (§ 4.1.4) ;
- des sous-bassins versants (§ 4.1.5).

La plupart de ces couches intermédiaires sont automatiquement recrées quand on lance les calculs. Les sous-bassins versants font exception car ils ne résultent pas des traitements automatiques conçus pour PRHYMO. Ils proviennent d'une banque de données existante et non modifiée pour l'Hexagone (BD Carthage) et de données modifiées manuellement pour l'Outre-mer (RHUM).

4.1.1- Les zones tampons

La distance latérale de recherche des pressions riveraines du cours d'eau varient selon le type de pression considérée et selon la largeur théorique du lit mineur des TGH (notée W et assimilée à leur largeur à pleins bords). Plusieurs jeux de zones tampons (ou buffers) sont utilisés à cet effet ([figure 15](#)).

Buffer3W a une largeur totale de 3 fois la largeur théorique du lit mineur et d'au moins 15 m (donc il déroge à 3W si W est inférieure à 5 m). Il représente la proximité immédiate du lit mineur (1W de chaque côté du lit mineur théorique) et est utilisé pour calculer les descripteurs suivants :

- taux d'agriculture intensive à proximité du lit mineur,
- présence de carrières à proximité du lit mineur,
- taux d'aménagements à proximité du lit mineur.

Buffer12W a une largeur totale de 12 fois la largeur théorique du lit mineur et d'au moins 15 m (donc il déroge à 12W si W est inférieure à 1,25 m). Il est utilisé pour évaluer la présence de canaux navigables dans le lit majeur (6W de chaque côté du lit mineur théorique).

Buffer10m correspond à une bande de 10 m de part et d'autre du lit mineur théorique, soit une largeur totale de $W + 20$ m. De la même manière, *Buffer30m* correspond à une bande de 30 m de part et d'autre du lit mineur théorique, soit une largeur totale de $W + 60$ m. Et *buffer60m* correspond à une bande de 60 m de part et d'autre du lit mineur théorique, soit une largeur totale de $W + 120$ m. Ces 3

zones tampons sont utilisées pour évaluer la présence de boisements de berges (taux de boisement 10, 30 ou 60 m autour du cours d'eau).

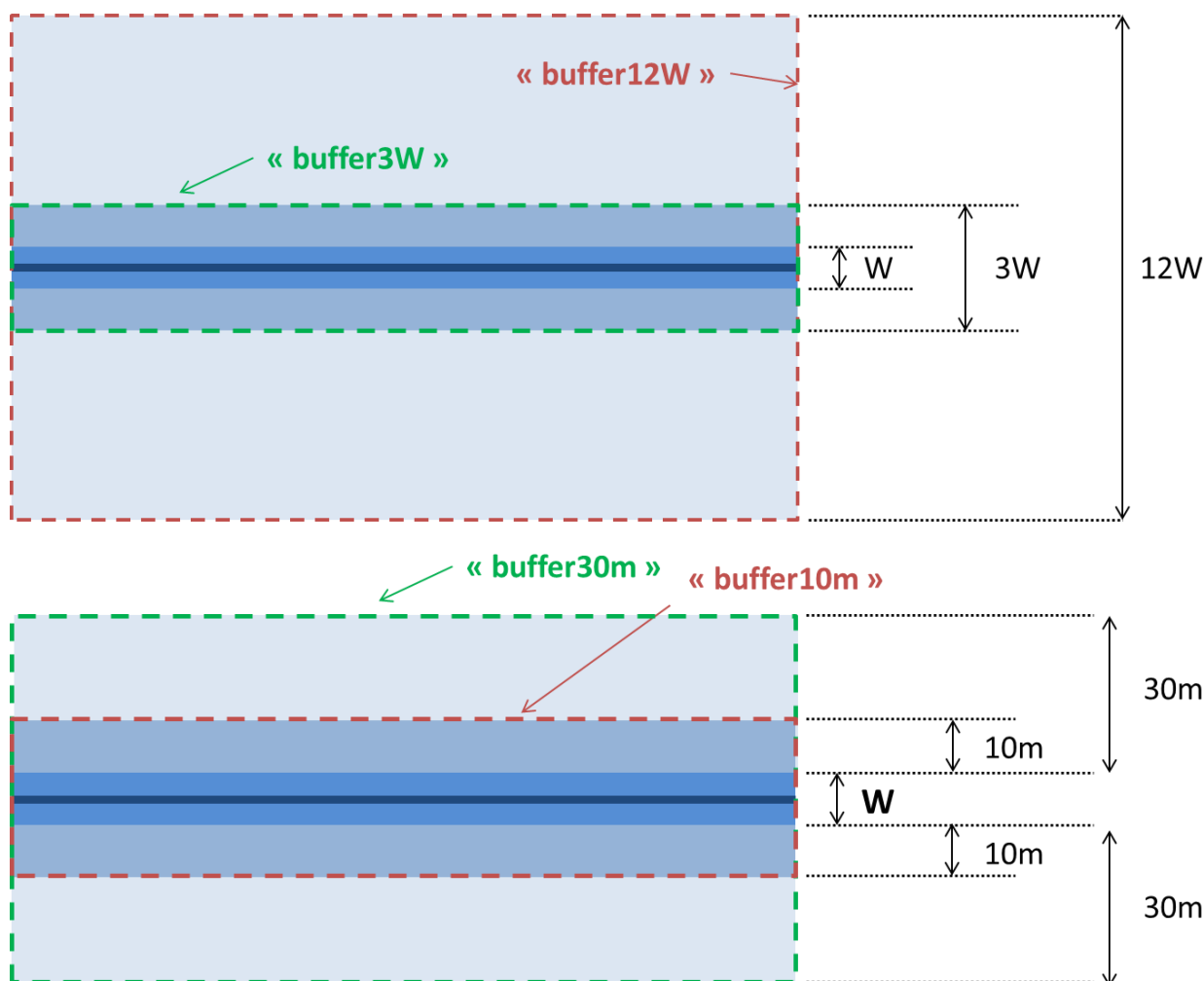


Figure 15. Les principales zones tampons utilisées pour identifier les pressions adjacentes aux cours d'eau (buffer3W, buffer12W, buffer10m et buffer30m)

4.1.2- Les unités spatiales d'intégration

Les unités spatiales d'intégration (USI) sont utilisées pour quantifier le taux de rectitude du tracé en plan des USRA. Elles résultent du découpage des USRA en segments de longueur identique selon une règle identique sur tout le territoire national : chaque USI a une longueur de 25 fois la largeur théorique à pleins bords avec un minimum de 100 m (longueur des plus petites USRA à quelques exceptions près).

Une USI est considérée comme rectiligne si le rapport entre sa longueur totale et la distance en ligne droite entre ses extrémités amont et aval (coefficient de sinuosité) est inférieur à 1,05. Le taux de rectitude d'une USRA dépend finalement de la proportion d'USI rectilignes qui la composent :

- faible si inférieur à 20% ;
- moyen jusqu'à 50% ;
- fort au-delà.

4.1.3- Les remous liquides

Le remous liquide correspond à la retenue générée à l'étiage par un ouvrage transversal. Le remous liquide de chaque ouvrage recensé par le ROE a été calculé en fonction de sa hauteur de chute à l'étiage (seule donnée disponible) et de la pente du cours d'eau qui l'accueille (au droit de l'ouvrage et en amont). Cette couche intermédiaire facilite le calcul et la vérification du calcul des taux d'étagement (figure 16).

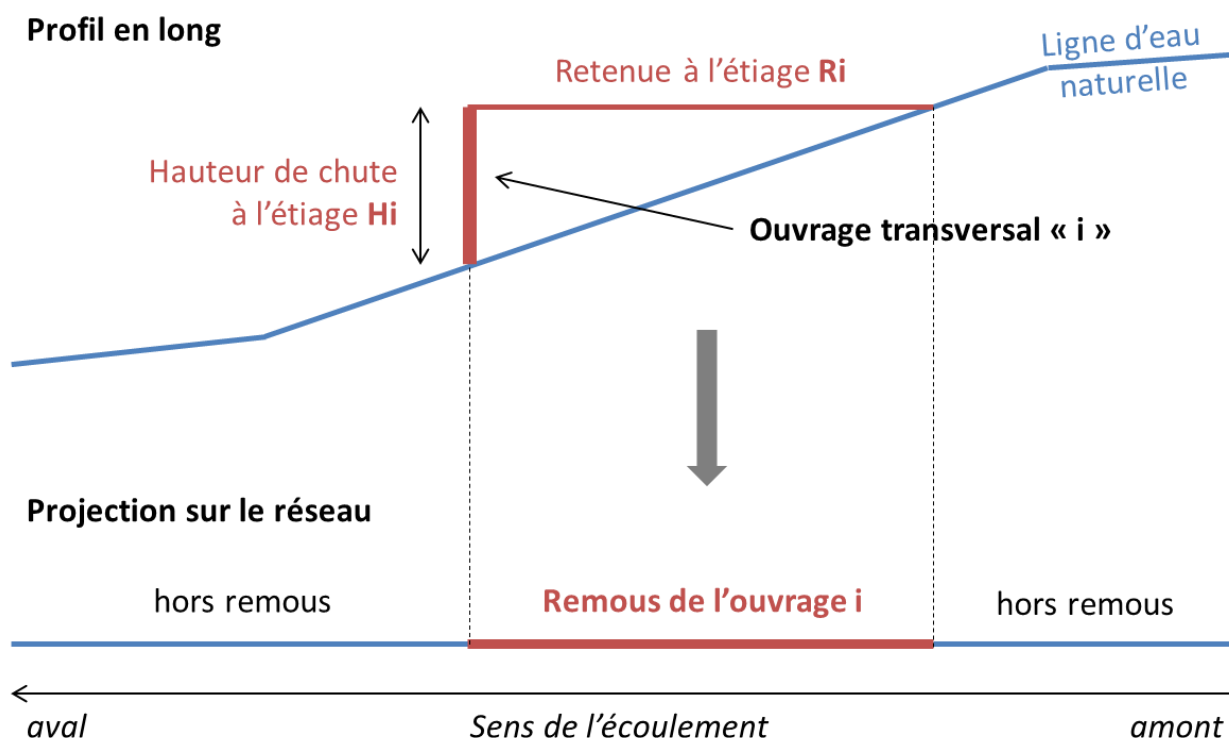


Figure 16. Illustration d'un « remous liquide » (retenues à l'étiage des ouvrages transversaux)

4.1.4- Les réseaux coulants

Ces couches résultent du découpage des USRA aux confluent. Elles permettent de déterminer si un ouvrage transversal se situe dans la partie amont ou dans la partie aval d'une USRA par rapport à une confluence. Aussi sont-elles utilisées pour calculer les remous liquides puis les taux d'étagement.

4.1.5- Les sous-bassins versants

Un sous-bassin versant représente la portion de bassin versant drainée par un tronçon particulier. Leur résolution spatiale est variable selon les territoires (cf. § 2.3; figure 17).

Dans les DROM insulaires, un sous-bassin versant unique a été défini pour chaque USRA ou presque (97 à 100%), ce qui confère un maximum de précision et de représentativité aux résultats. La superficie moyenne d'un sous-bassin est de l'ordre de 0,1 km².

En Guyane, un sous-bassin versant unique a été défini pour chaque USRA de rang ≥ 3 ou presque (99,7%) mais les sous-bassins des USRA de rang inférieur ne sont pas identifiés. Cela diminue la résolution spatiale de certains résultats pour ces dernières (ex. : toutes les USRA de rang 0, 1 ou 2

présentes dans un sous-bassin donné ont un taux d'imperméabilisation de bassin versant identique qui correspond à celui du sous-bassin). La superficie moyenne d'un sous-bassin est de l'ordre de 10 km².

Dans l'Hexagone, les sous-bassins correspondent aux zones hydrographiques de la BD Carthage. Cela se traduit par une moindre résolution des résultats et dans une proportion plus élevée qu'en Guyane car une zone hydrographique représente en moyenne 90 km² et 94 USRA environ. De plus, cela entraîne parfois des erreurs dans le calcul des descripteurs faisant appel aux bassins versants car les contours des zones hydrographiques ne sont pas toujours cohérents avec la structure du réseau hydrographique de la BD Topo.

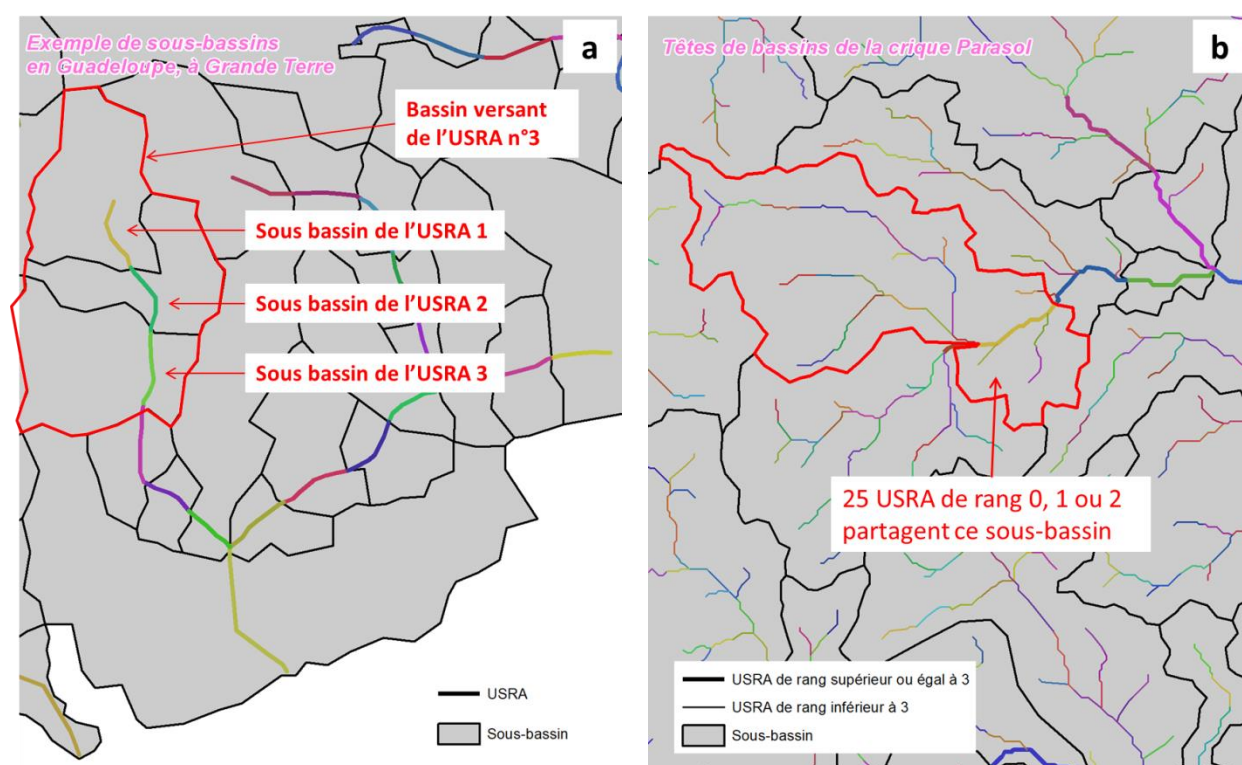


Figure 17. Exemples de sous-bassins versants en Guadeloupe (a) et en Guyane (b)

4.2- Calculs des probabilités d'altération

La structure des modèles d'évaluation de chaque paramètre élémentaire a été présentée dans le chapitre précédent. Mais le calcul de leurs probabilités (risques) d'altération repose également sur ces 3 étapes :

- la discrétisation des descripteurs (§ 4.2.1) ;
- le renseignement des tables de distribution de probabilités d'altération (§ 4.2.2) ;
- la simplification des résultats (§ 4.2.3).

4.2.1- Les classes de descripteurs

La plupart des données issues des calculs géomatiques sont des variables quantitatives. Elles sont discrétisées, c'est-à-dire mises en classes, pour alimenter les modèles. Par exemple, une USRA dont le bassin versant est imperméabilisé à hauteur de 17% correspond à la classe moyenne (10 à 25%) du descripteur « taux d'imperméabilisation du bassin versant ». Quelques-unes sont déjà discrètes mais il

est possible de diminuer encore le nombre de classes. Par exemple, une USRA de rang 2 correspond à la modalité « rang ≤ 3 » du descripteur « rang de Strahler » qui témoigne de la taille du cours d'eau.

La discrétisation suppose de déterminer des seuils au-delà desquels les pressions deviennent significatives, fortes voire très fortes, le nombre de classes variant selon les descripteurs.

Une partie des seuils déterminés par RHUM et SYRAH-CE ont été réappliqués dès lors qu'ils étaient homogènes et toujours d'actualité au regard de l'état des connaissances. Nous avons par exemple conservé les valeurs définies par SYRAH-CE en ce qui concerne la limite altitudinale de végétation arborée dans les principaux massifs montagneux de l'Hexagone (rappel : 1200 m dans les Vosges, 1500 m dans le Massif Central, 1800 m dans les Pyrénées, 2000 m dans les Alpes du nord, 2100 m dans les Alpes du sud).

Mais un grand nombre des seuils ont été déterminés durant la présente étude dans la mesure où PRHYMO considère de nouveaux descripteurs, basés sur des nouvelles méthodes de calculs et/ou de nouvelles sources de données. Il convenait également d'harmoniser les seuils utilisés sur le territoire national (SYRAH-CE et RHUM considéraient parfois des seuils différents pour une même pression) tout en tenant compte des spécificités régionales (hydrologiques et biologiques notamment), et de réévaluer ceux dont la pertinence semblait discutable (ex. : le seuil de 25 000 m³/km²/an pour évaluer l'impact des prélèvements d'eau était clairement identifié comme une valeur à réévaluer dans le rapport méthodologique RHUM).

Dans la mesure du possible, nous nous sommes appuyés sur la littérature scientifique et technique pour déterminer les nouveaux seuils. Le seuil de 10% d'imperméabilisation du bassin versant, au-delà duquel nous considérons que l'urbanisation entraîne une pression significative sur l'équilibre sédimentaire des tronçons, est par exemple cité par plusieurs auteurs comme une valeur minimale pour observer des ajustements morphologiques induits par ce déséquilibre (Schueler 1995, Booth et Jackson 1997, Bledsoe et al. 2001). Le seuil de 1 km/km², au-delà duquel la densité de haies dans le bassin versant est considérée comme forte, n'est pas explicitement indiqué dans la littérature mais s'inspire d'Ouvry et al. (2019) qui rapporte que les haies espacées de 1 km retiennent en moyenne 71 % des matières en suspension.

Sinon, nous nous sommes appuyés sur notre expertise. Une attention particulière a été apportée à la définition des seuils qualifiant les pressions hydrologiques générées par les prélèvements d'eau, les retenues, les ouvrages hydroélectriques fonctionnant par éclusées.

Précisons enfin que certaines valeurs seuils interviennent en amont de la discrétisation des descripteurs. C'est par exemple le cas des critères visant à identifier les grands ouvrages susceptibles de bloquer totalement la charge solide, et donc pour calculer le taux de bassin intercepté par les grands barrages amont.

4.2.2- Les tables de distribution de probabilités d'altération

A chaque nœud d'un arbre bayésien est attribuée une table de distribution de probabilités d'altération. Ces tables listent toutes les combinaisons de descripteurs possibles et déterminent, pour chacune de ces combinaisons, les probabilités d'altération supposées. On parle de distribution de probabilités car le degré d'altération attribué à une combinaison donnée correspond rarement à une classe unique (ex. : 100% moyen) mais se disperse généralement entre plusieurs classes (ex. : 30% moyen, 50% fort, 20% très fort).

Ces tables ont été renseignées à dire d'expert en s'inspirant des tables définies par SYRAH-CE et RHUM. La distribution attribuée à une combinaison donnée est d'autant plus dispersée que le degré d'altération est incertain, et inversement.

Les **tableaux 3 à 6** fournissent quelques exemples simples et variés, en expliquant les principes retenus pour quantifier et hiérarchiser les niveaux d'altération.

tronçon court-circuité	canaux navigables en lit majeur	consommation d'eau dans le bassin versant	pression sur les débits moyens				
			très faible	faible	moyenne	forte	très forte
absence	absence	faible	100%	0%	0%	0%	0%
absence	absence	moyenne	0%	10%	60%	30%	0%
absence	absence	forte	0%	0%	10%	60%	30%
absence	présence	faible	25%	50%	25%	0%	0%
absence	présence	moyenne	0%	0%	50%	50%	0%
absence	présence	forte	0%	0%	0%	50%	50%
présence	absence	faible	0%	0%	0%	50%	50%
présence	absence	moyenne	0%	0%	0%	20%	80%
présence	absence	forte	0%	0%	0%	0%	100%
présence	présence	faible	0%	0%	0%	35%	65%
présence	présence	moyenne	0%	0%	0%	0%	100%
présence	présence	forte	0%	0%	0%	0%	100%

Tableau 3. Table des distributions de probabilités du nœud *Pression sur les débits moyens*.
Les probabilités d'altération ont été fixées en considérant la hiérarchie de pression suivante : TCC > consommation d'eau forte > consommation d'eau moyenne > présence de canaux navigables en lit majeur.

dégradation de la ripisylve	artificialisation de la rive	altération de la structure de la rive				
		très faible	faible	moyen	fort	très fort
faible	faible	100%	0%	0%	0%	0%
faible	moyenne	0%	20%	80%	0%	0%
faible	forte	0%	0%	0%	100%	0%
moyenne	faible	0%	20%	80%	0%	0%
moyenne	moyenne	0%	0%	75%	25%	0%
moyenne	forte	0%	0%	0%	50%	50%
forte	faible	0%	0%	0%	100%	0%
forte	moyenne	0%	0%	0%	50%	50%
forte	forte	0%	0%	0%	0%	100%

Tableau 4. Table des distributions de probabilités du paramètre élémentaire *Morphologie - Structure de la rive*.
La probabilité d'altération est forte dès lors que celle d'un des parents est forte, puis elle augmente pour devenir en partie très forte à mesure que la probabilité d'altération du 2^{ème} parent augmente également.

pression amont sur l'équilibre sédimentaire	pression locale sur l'équilibre sédimentaire	déficit sédimentaire		
		faible	moyen	fort
faible	faible	100%	0%	0%
faible	moyenne	0%	100%	0%
faible	forte	0%	0%	100%
moyenne	faible	0%	100%	0%
moyenne	moyenne	0%	100%	0%
moyenne	forte	0%	0%	100%
forte	faible	0%	0%	100%
forte	moyenne	0%	0%	100%
forte	forte	0%	0%	100%

Tableau 5. Table des distributions de probabilités du nœud *Déficit sédimentaire*.
La probabilité d'altération est égale à celle du parent le plus altéré.

pente du tronçon	rectitude du tracé en plan	probabilité de rectification		
		faible	moyenne	forte
faible (<6%)	faible (< 20%)	100%	0%	0%
faible (<6%)	moyenne (20 à 50%)	0%	100%	0%
faible (<6%)	forte (≥ 50%)	0%	0%	100%
forte (≥6%)	faible (< 20%)	100%	0%	0%
forte (≥6%)	moyenne (20 à 50%)	100%	0%	0%
forte (≥6%)	forte (≥ 50%)	100%	0%	0%

Tableau 6. Table des distributions de probabilités du nœud *Rectification*.
La pente sert à éliminer les faux positifs : si la pente est faible, la probabilité de rectification correspond strictement à la classe de rectitude du tracé en plan ; si la pente est forte, nous considérons que la rectitude du tracé n'est pas un indice de rectification.

4.2.3- Simplification des résultats

Les étapes précédentes produisent, pour chaque paramètre élémentaire, une distribution de probabilités d'altération en 5 classes : très faible, faible, moyenne, forte, très forte.

Ces résultats sont ensuite simplifiés en identifiant la classe d'altération la plus probable, c'est-à-dire celle dont le pourcentage est le plus élevé. Si le pourcentage le plus élevé est attribué à plusieurs classes, nous retenons la classe la plus pénalisante.

La classe d'altération la plus probable permet de résumer au maximum les résultats mais elle n'est pertinente que si sa probabilité est largement supérieure aux autres classes. Un attribut complémentaire a donc été calculé pour alerter sur les situations d'équiprobabilité ou de quasi équiprobabilité. Il distingue 4 niveaux d'alerte codés A, B, C et D (le niveau d'alerte décroît de A à D) qui correspondent aux situations suivantes :

- A : 2 classes ou plus ont une probabilité inférieure de moins de 10% à la classe la plus probable ;

- B : une classe a une probabilité inférieure de moins de 10% à la classe la plus probable avec un écart de 4 ou 3 classes (très fort <> très faible ; très fort <> faible ; fort <> très faible) ;
- C : une classe a une probabilité inférieure de moins de 10% à la classe la plus probable avec un écart de 2 classes (très fort <> moyen ; fort <> faible ; moyen <> très faible) ;
- D : une classe a une probabilité inférieure de moins de 10% à la classe la plus probable avec un écart de 1 classe (très fort <> fort ; fort <> moyen ; moyen <> faible ; faible <> très faible).

Le **tableau 7** fournit quelques exemples qui aident à mieux comprendre ces différents cas de figure.

Se reporter à la seule classe d'altération la plus probable revient à négliger les incertitudes et la diversité de réponses possibles à une combinaison de pressions. Cela peut rester pertinent à l'échelle d'un grand bassin mais il est vivement recommandé de consulter systématiquement la distribution initiale des probabilités d'altération quand on s'intéresse à un tronçon donné ou à un petit nombre de tronçons.

NB : il y a autant d'indicateurs d'alerte sur les situations d'équiprobabilité ou de quasi équiprobabilité qu'il y a de paramètres élémentaires. Chacun commence par le préfixe *av_* puis précise le paramètre concerné (ex. : *av_hyd_qte* pour le paramètre *Hydrologie – Quantité*).

4.3- Agrégation à l'échelle du TGH et de la masse d'eau

4.3.1- Méthodes de calcul

Les probabilités d'altération des TGH correspondent à la moyenne des probabilités d'altération de toutes les USRA qui le composent. Il s'agit d'une moyenne arithmétique simple dans la mesure où les USRA résultent du découpage des TGH en segments de longueur identique (cf. § 2.2).

L'agrégation à l'échelle de la masse d'eau cours d'eau repose sur une moyenne des probabilités d'altération des USRA qui lui sont attribuées pondérée par leur longueur. Les USRA attribuées à une masse d'eau se situent à moins de 50 m de cette masse d'eau sur au moins 25% de leur longueur.

4.3.2- Représentativité des résultats à l'échelle de la masse d'eau

Rappelons que l'emprise des réseaux PRHYMO et leurs limites de tronçons (USRA ou TGH) diffèrent de celles des masses d'eau. D'une part, tous les tronçons PRHYMO ne sont pas classés comme masse d'eau. Le taux de classement global sur les territoires étudiés est de 67%, avec un minimum de 6% en Martinique (**figure 18a**) et un maximum de 93% dans l'Hexagone. D'autre part, toutes les masses d'eau ne sont pas prises en compte par les réseaux PRHYMO ou pas sur l'entièreté de leur linéaire :

- certaines masses d'eau ne sont couvertes que partiellement (ex. : **figure 18b**) ;
- d'autres sont totalement exclues (ex. : **figure 18c**) ;
- quelques-unes sont évaluées sur la base de quelques USRA qui ne correspondent pas, ou pas toutes, à cette masse d'eau mais à un autre cours d'eau situé à proximité (ex. : **figure 18d**).

Ces problèmes se rencontrent essentiellement dans l'Hexagone où le réseau PRHYMO et celui des masses d'eau reposent sur des référentiels différents (BD Topo pour le premier, BD Carthage pour le second), ce qui complique l'identification des USRA représentatives d'une masse d'eau. Les 2 derniers (exclusion totale ou mauvaise attribution) concernent en général des canaux artificiels qui n'ont pas vocation à être évalués par PRHYMO car ils constituent davantage une pression (en termes de dérivation hydraulique ou de contrainte latérale) qu'un milieu naturel sensible aux pressions d'ordre hydromorphologique. Les modèles d'évaluation ne sont d'ailleurs pas appropriés à ces canaux créés ex

probabilité d'altération					classe d'altération la plus probable	alerte	commentaire
très faible	faible	moyen	forte	très forte			
0%	15%	65%	20%	0%	moyenne	-	Aucune alerte (plus de 10% d'écart entre la 3 ^{ème} classe et les autres)
30%	37%	33%	0%	0%	faible	A	Les 1 ^{ère} et 3 ^{ème} classes ont une probabilité proche de la 2 ^{ème} classe
27%	26%	24%	23%	0%	faible	A	Les 1 ^{ère} , 3 ^{ème} et 4 ^{ème} classes ont une probabilité proche de la 2 ^{ème} classe
20%	25%	19%	18%	18%	faible	A	Toutes les classes ont une probabilité proche
20%	20%	20%	20%	20%	très forte	A	Equiprobabilité stricte
25%	25%	25%	25%	0%	forte	A	Equiprobabilité stricte
0%	50%	50%	0%	0%	moyenne	A	Equiprobabilité stricte
33%	33%	33%	0%	0%	moyenne	A	Equiprobabilité stricte
35%	15%	5%	5%	40%	très forte	B	La 1 ^{ère} classe a une probabilité proche de la 5 ^{ème} classe
35%	15%	10%	40%	0%	forte	B	La 1 ^{ère} classe a une probabilité proche de la 4 ^{ème} classe
0%	35%	25%	40%	0%	forte	C	La 2 ^{ème} classe a une probabilité proche de la 4 ^{ème} classe
40%	25%	35%	0%	0%	faible	C	La 3 ^{ème} classe a une probabilité proche de la 1 ^{ère} classe
0%	25%	35%	40%	0%	forte	D	La 3 ^{ème} classe a une probabilité proche de la 4 ^{ème} classe
0%	0%	45%	40%	15%	moyenne	D	La 4 ^{ème} classe a une probabilité proche de la 3 ^{ème} classe

Tableau 7. Exemples d'équiprobabilité ou de quasi équiprobabilité

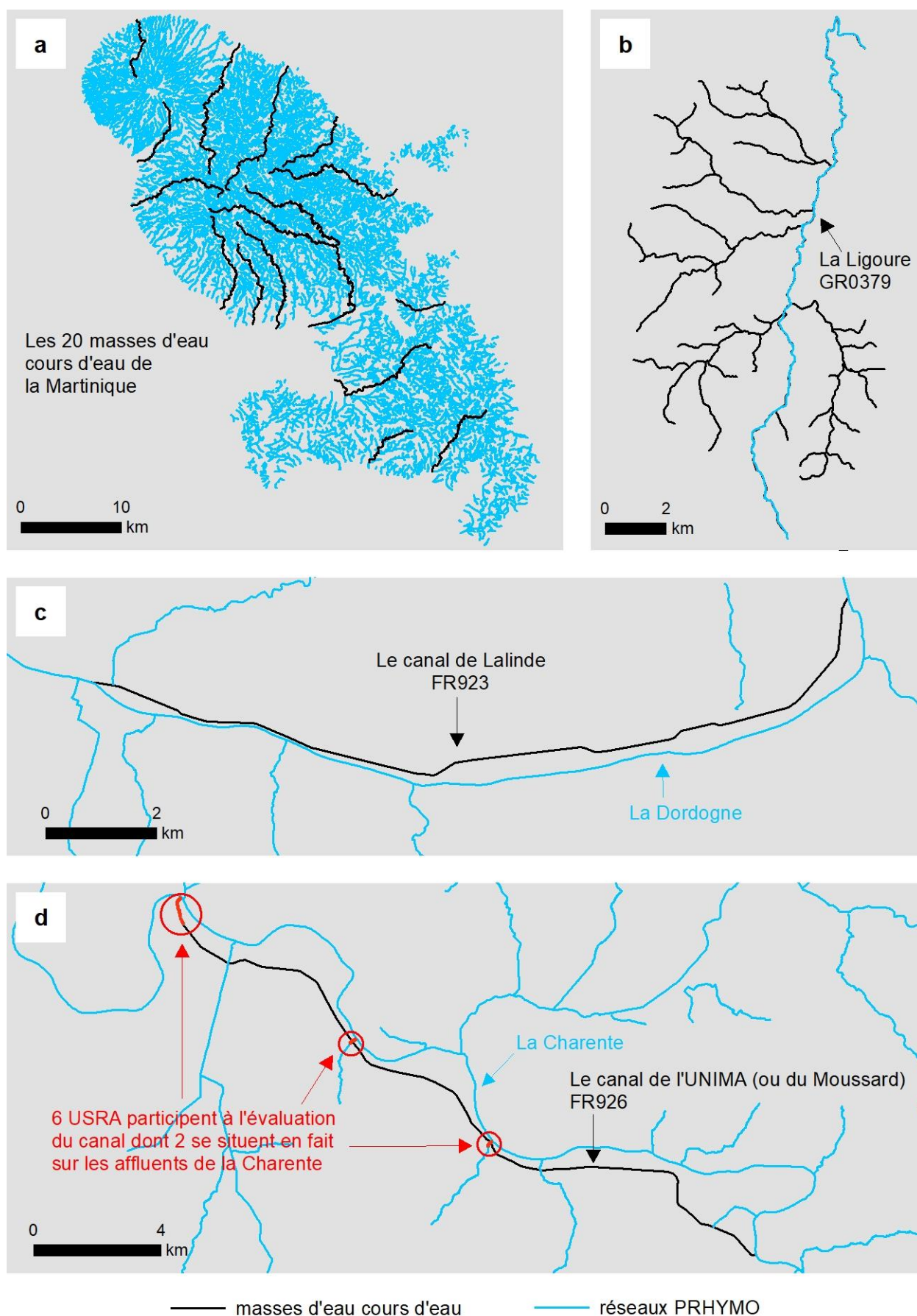
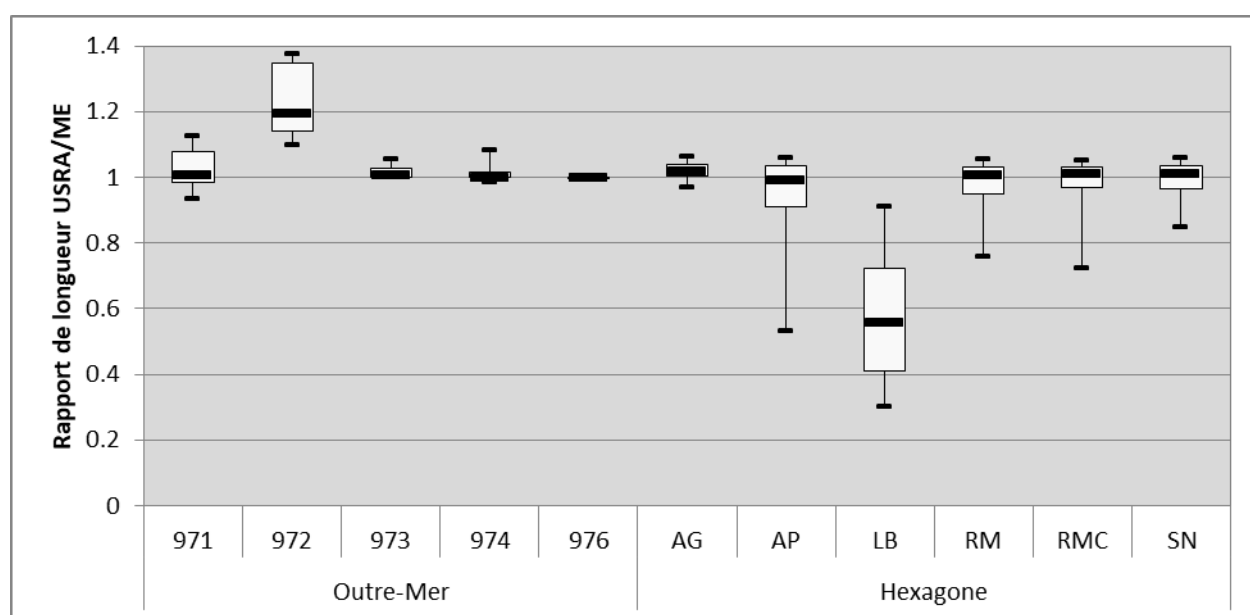


Figure 18. Comparaison des masses d'eau et des réseaux PRHYMO : a) en Martinique où les masses d'eau ne représentent que 6% du réseau PRHYMO ; b) la Ligoure qui n'est couverte qu'à 23% par le réseau PRHYMO ; c) le canal de Lalinde qui est totalement exclu du réseau PRHYMO ; d) le canal de l'UNIMA auquel sont attribuées une partie des USRA des affluents de rive gauche de la Charente

nihilo avec un tracé en plan rectiligne, une section en travers homogène, des berges voire un substrat artificiels (ex. : béton). La plupart ont ainsi été volontairement exclus des réseaux PRHYMO.

Nous recommandons donc vivement de vérifier la représentativité des résultats obtenus à l'échelle de la masse d'eau dans l'Hexagone. Pour le faire, on devrait en premier lieu s'interroger sur le caractère naturel des masses d'eau évaluées. Il faut ensuite systématiquement examiner le rapport entre la longueur cumulée des USRA prises en compte dans l'évaluation de la masse d'eau (attribut *l_usra_me*) et la longueur de la masse d'eau (attribut *longueur*). Une valeur proche de 1 signifie que la représentativité est très bonne, alors qu'une valeur proche de 0 signifie que la représentativité est très mauvaise. Entre ces 2 valeurs, il est difficile de définir une valeur seuil standardisée à tout type de situations à partir de laquelle la représentativité deviendrait inacceptable. Notons qu'un rapport de valeur supérieure à 1 n'est pas une anomalie, cela peut résulter par exemple des limites de découpage et de superposition entre les réseaux, ou encore de la densité même du réseau PRHYMO (voir cas ci-après).

La **figure 19** représente la dispersion de ce rapport de longueur (*l_usra_me* divisé par *longueur*) dans chaque grand bassin. Il est généralement proche de 1 mais 2 grands bassins se distinguent des autres. En Loire-Bretagne, la valeur médiane est de 0,56 car le réseau des masses d'eau intègre de nombreux petits cours d'eau de tête de bassin qui ne sont pas couverts par le réseau PRHYMO (ex. : **figure 18b**). En Martinique, la valeur médiane est de 1,20 car c'est ici le réseau PRHYMO qui est particulièrement dense (4 km/km²). Les masses d'eau se voient alors attribuer, en plus de leurs propres USRA, une partie des USRA situées à l'extrémité aval de leurs affluents (la dernière USRA d'un affluent a nécessairement 25% de sa longueur à moins de 50 m du cours d'eau principal si cette longueur est de 200 m ou moins).



Distribution des valeurs :

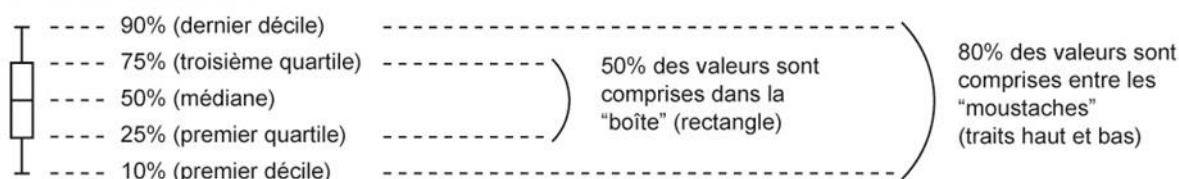


Figure 19. Distribution des rapports entre la longueur cumulée des USRA associées à une masse d'eau (attribut *l_usra_me*) et la longueur de la masse d'eau (attribut *longueur*)

4.4- Gestion des données manquantes

Les modèles bayésiens offrent la possibilité d'attribuer une distribution par défaut à chaque descripteur et de l'utiliser lorsque ce dernier n'est pas renseigné, c'est-à-dire lorsqu'il ne peut pas être calculé faute de données. Cela permet d'évaluer les probabilités d'altération malgré cette lacune mais cela augmente leur dispersion. Cette distribution peut être homogène si le phénomène est totalement méconnu (ex : 50% de risques que la pression soit présente, 50% de chances qu'elle soit absente) ou s'appuyer sur une connaissance partielle du phénomène mesuré par le descripteur (ex : 10% présence / 90% absence si l'on considère qu'en moyenne 10% des cours d'eau sont affectés par cette pression).

Nous avons choisi de ne pas utiliser cette possibilité afin de limiter l'incertitude des résultats. **Lorsqu'un descripteur n'est pas renseigné parce qu'aucune donnée source n'est disponible, PRHYMO considère systématiquement que la pression est absente.** Sur certains territoires, le nombre de descripteurs non renseignés peut s'élever jusqu'à 4 (le document de présentation des arbres bayésiens en annexe 1 précise systématiquement les descripteurs non renseignés et les territoires concernés). Il faut donc bien garder à l'esprit que les pressions peuvent être sous-estimées sur certains cours d'eau.

C'est par exemple le cas des tronçons court-circuités (TCC). A notre connaissance, Mayotte et la Guyane n'accueillent aucun TCC donc cette règle n'entraîne aucune incertitude sur ces territoires. En revanche, l'évaluation des pressions hydrologiques est parfois sous-estimée sur les autres territoires. Sur un cours d'eau donné, si l'utilisateur sait qu'un TCC est présent, il devra considérer que l'évaluation produite par PRHYMO minimise considérablement le risque d'altération des paramètres élémentaires qui reposent en partie sur ce descripteur (*Hydrologie – Quantité* et *Hydrologie – Dynamique*). L'intégration des TCC dans les modèles d'évaluation est donc en quelque sorte fictive. Elle vise surtout à ne pas laisser croire qu'il s'agit d'une pression négligeable, à avertir l'utilisateur sur l'absence d'informations sur cette pression, et *in fine* à motiver la production d'un jeu de données spécifique à cette pression pour qu'elle soit prise en compte à l'avenir.

De manière plus générale, il faut rappeler qu'une pression peut ne pas être renseignée ou mal renseignée dans les sources de données exploitées (ex. : prélèvement d'eau illégal ou inférieur aux seuils de déclaration, volume prélevé erroné, prélèvement localisé en dehors du bassin versant concerné) ou encore échapper aux calculs (ex. : barrage positionné sur un cours d'eau de tête de bassin exclu du réseau hydrographique numérique). De même, les informations portées par les sources de données ne valent qu'à l'instant de leur collecte, une pression prise en compte dans les calculs peut donc éventuellement ne plus exister sur le terrain (ex. : ouvrage ROE récemment effacé).

5- Limites et pistes d'améliorations

5.1- Caractère évolutif du dispositif

Les résultats sont relativement faciles à actualiser pour intégrer une mise à jour des sources de données exploitées si leur structure n'a pas évolué (ex. : nouveau millésime de la BD Topo de l'IGN). Mais si leur structure évolue (ex. : nouvelle version de la BD Topo de l'IGN), il faudra systématiquement vérifier qu'elle reste compatible avec les méthodes de calculs conçues dans cette première version de PRHYMO. Nous recommandons une vigilance particulière à l'évolution des nomenclatures car un léger changement dans le code ou l'intitulé d'une modalité exclura ou inclura à tort les objets concernés (ex. : « route » plutôt que « routes »). Dans certains cas, il sera donc nécessaire d'adapter les scripts.

Une partie des évolutions de PRHYMO par rapport à RHUM et/ou SYRAH-CE ont été motivées par la disponibilité de nouvelles données. Dans un avenir plus ou moins proche, on pourra donc s'interroger sur le renouvellement des sources de données. Cela pourrait intervenir assez rapidement en ce qui concerne les données sur l'occupation des sols. Pour renseigner les surfaces urbaines, imperméables, agricoles et les boisements de berges, 6 sources de données différentes sont actuellement utilisées. L'OCS-GE (pour occupation du sol à grande échelle), qui est déjà disponible en Martinique et à Mayotte, devrait devenir la banque de données nationale de référence et couvrir prochainement les autres territoires.

5.2- Qualité des données d'entrée

La principale limite de PRHYMO réside vraisemblablement dans les données qu'il exploite.

D'une part, les données font défaut pour renseigner certains types de pressions ou de contrôles naturels. C'est notamment le cas de 4 descripteurs rarement renseignés : tronçons court-circuités, ouvrages fonctionnant par éclusées, fonds bétonnés et curages. C'est également le cas de la sensibilité des sols à l'érosion et de la densité de haies en Outre-mer.

D'autre part, les données utilisées peuvent présenter des défauts en termes de complétude, d'exhaustivité, d'exactitude, de précision ou de fraîcheur. Et chacun de ces défauts constitue un biais dans l'évaluation. Les 2 sections suivantes traitent des limites spécifiques aux réseaux hydrographiques (§ 5.3) et aux débits naturels (§ 5.4).

5.3- Réseaux hydrographiques numériques

La révision des réseaux hydrographiques représente une partie significative du travail réalisé. Tous les réseaux ont été améliorés mais dans des proportions variables, à la hauteur des défauts constatés sur les réseaux préexistants. La plupart des efforts ont en fait porté sur le réseau de l'Hexagone et c'est essentiellement sur ce territoire que des erreurs subsistent. Un effort supplémentaire pourrait donc être apporté pour les corriger mais il ne faut pas sous-estimer les difficultés : la transposition d'un réseau ramifié ou maillé sur un autre est délicate, même pour un opérateur averti ; outre les difficultés techniques, la représentativité des TGH définis par l'équipe en charge du SYRAH-CE diminue à mesure que l'on s'éloigne du référentiel initial (BD Carthage).

Sur tous les territoires, il conviendrait à moyen terme de migrer vers la BD Topage pour que les réseaux PRHYMO soient cohérents avec ce nouveau référentiel hydrographique à grande échelle et qu'ils bénéficient de ses mises à jour.

Enfin, la délimitation des bassins versants est très approximative dans l'Hexagone et pourrait encore être affinée en Guyane (cf. § 4.1.5). Cela entraîne des erreurs et des défauts de résolution pour tous les descripteurs faisant intervenir cette échelle (10 descripteurs). D'après le groupe de pilotage de l'information géographique sur l'eau, la production de nouveaux bassins versants à moyenne échelle puis à grande échelle est envisagée dans le cadre de la mise en œuvre de la BD Topage (GPIGE 2022).

5.4- Connaissance des débits naturels

Le degré d'altération de l'élément de qualité *Hydrologie* dépend de l'intensité et de la saisonnalité des écoulements naturels de chaque tronçon. Idéalement, la pression sur le débit annuel moyen serait évaluée en divisant le volume d'eau consommé annuellement dans le bassin versant de chaque tronçon par le module interannuel de ce tronçon. Et la pression sur le débit d'étiage serait évaluée en divisant le volume d'eau consommé durant l'étiage par le débit d'étiage naturel (reconstitué) du tronçon. Ces méthodes sont peu réalistes compte tenu des données disponibles sur la plupart des territoires mais on peut envisager quelques améliorations significatives. Précisons que ces pistes d'amélioration nécessiteraient de véritables études hydrologiques qui dépassent du cadre de PRHYMO.

Les seuils de pression sur le débit annuel moyen ont été définis en considérant le module interannuel médian de chaque territoire : exprimés en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$, des valeurs différentes sont appliquées dans l'Hexagone, à Mayotte ou dans les autres DROM. L'évaluation serait plus représentative si on était en mesure de classer voire de quantifier les modules interannuels à une échelle plus fine, par exemple pour chaque hydro-écorégion. Si l'on parvenait à classer les modules, on pourrait intégrer cette classification comme descripteur de pondération des probabilités d'altération (à l'image de l'intensité des étiages naturels pour la pression sur les débits d'étiage). Si l'on parvenait à quantifier les modules, on pourrait alors directement exprimer les volumes d'eau consommé dans le bassin versant en pourcentage du volume d'eau annuellement écoulé.

La pression sur le débit d'étiage est évaluée en tenant compte de la sévérité des étiages naturels d'après les zonages établis dans RHUM et SYRAH-CE qui ne distinguent que 2 classes (étiage faible ou fort). On pourrait donc considérer un plus grand nombre de classes, en particulier dans l'Hexagone où les conditions hydroclimatiques sont très variées.

Sur ce dernier territoire, on pourrait également vérifier et actualiser le zonage différenciant étiage fort et étiage faible. A superficie de bassin versant égale, la valeur médiane des débits mensuels les plus faibles d'une année quinquennale sèche (QMNA5) des cours d'eau classés « étiage fort » est environ 3 fois plus élevée que celle des cours d'eau classés « étiage faible ». Le zonage actuel est donc globalement cohérent mais certains cours d'eau à « étiage fort » présenteraient en fait un QMNA5 spécifique inférieur à celui des cours d'eau à « étiage faible », et inversement (constat réalisé sur les débits influencés renseignés par la Banque Hydro comme sur les débits naturels reconstitués par Riffard et al. 2012). On pourrait encore éventuellement distinguer les cours d'eau à étiage hivernal ou estival.

Dans les DROM insulaires, les débits naturels et plus particulièrement les débits d'étiage sont relativement méconnus car les données sont peu nombreuses et les stations hydrométriques renseignées par la Banque Hydro sont réparties de manière très inégale : en Martinique et à La Réunion, la plupart des stations sont implantées dans les zones d'étiage fort ; en Guadeloupe et à Mayotte, aucune station n'est implantée en zone d'étiage faible. Les seuils de pression mériteraient d'être affinés en intégrant des données complémentaires.

5.5- Vers une simplification des résultats ?

En plus de l'évaluation des probabilités d'altération de chaque paramètre élémentaire, RHUM fournissait une évaluation au niveau de chaque élément de qualité ainsi qu'une évaluation globale sur l'hydromorphologie des cours d'eau. Cette simplification des résultats avait été déjà proposée lors de la première version du SYRAH-CE pour l'Hexagone (compte-rendu du Groupe de travail national Hydromorphologie du 8 juin 2012) mais n'avait pas été systématiquement appliquée faute de consensus. A l'heure actuelle, chaque bassin définit ses propres règles d'agrégation en respectant, ou non, les propositions de 2012.

La méthode de calcul au niveau des éléments de qualité reposait sur l'attribution d'un coefficient de pondération aux paramètres élémentaires qui les composent, tenant compte de la fiabilité des données utilisées et/ou de l'importance des processus évalués. Nous rappelons ci-dessous les coefficients qui avaient été proposés pour l'Hexagone puis appliqués en Outre-Mer, et nous en proposons de nouveaux (**tableau 8**). Ils pourraient être rediscutés à l'échelle nationale voire, éventuellement, adaptés sur certains territoires.

EQ	paramètre élémentaire	SYRAH-CE	RHUM îles	RHUM 973	PRHYMO
Hydrologie	Quantité	0.5	0.5	0.5	0.5
	Dynamique	0.25	0.25	0.25	0.25
	Connexion aux ME souterraines	0.25	0.25	0.25	0.25
Continuité	Biologique – amphihalins	0.165	0.333	0.25	0.2
	Biologique – proximité	0.165	nc	0.25	0.2
	Latérale	0.33	0.333	0.25	0.3
	Sédimentaire	0.33	0.333	0.25	0.3
Morphologie	Profondeur et largeur du lit	0.2	0.4	0.4	0.3
	Structure et substrat du lit	0.4	0.2	0.2	0.4
	Structure de la rive	0.4	0.4	0.4	0.3

Tableau 8. Coefficients attribués aux paramètres élémentaires pour l'évaluation des éléments de qualité (EQ)

Pour déterminer le niveau global des pressions sur l'hydromorphologie, on ramenait au préalable à 3 classes les résultats obtenus au niveau de chaque élément de qualité (probabilités d'altération faible, moyenne, forte). Puis on ne considérait plus que 2 classes d'altération (faible ou forte) selon le principe suivant (**figure 20**) :

- si au moins 1 élément de qualité fait état d'une probabilité forte, alors l'état hydromorphologique aura une probabilité d'altération forte ;
- si 2 éléments de qualité font état de probabilités moyennes, alors l'état hydromorphologique aura une probabilité d'altération forte ;
- si 3 éléments de qualité font état de probabilités faibles, alors l'état hydromorphologique aura une probabilité d'altération faible ;
- si 1 élément de qualité fait état d'une probabilité moyenne et les 2 autres sont faibles, alors l'état hydromorphologique aura une probabilité d'altération faible.



Figure 20. Schéma de détermination du niveau global de pression sur l'hydromorphologie en fonction des probabilités d'altération des éléments de qualité (extrait du Groupe de travail national Hydromorphologie du 8 juin 2012)

Une telle simplification des résultats pourrait s'avérer pratique voire nécessaire. Elle conduit néanmoins à lisser fortement les résultats, ce qui entraîne une perte d'informations quant à la nature des pressions et aux composantes altérées (débits, transport solide, morphologie du lit, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

- Antoni V., Beaulaton L., Blard-Zakar A., Boulenger C., Bréjoux E., Cerisier-Auger A., Cosson E., Dequesne J., Dossa-Thauvin V., Eumont D., Guilhen J.-M., Guzmova L., Kreutzenberger K., Nowak C., 2020. Eau et milieux aquatiques : Les chiffres clés - Édition 2020. Ministère de la transition écologique.
- Baudoin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremiski W., Steinbach P., Voegtli B., 2014. Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. Onema. 200 pages.
- Berthier C., Steinbach P. 2016. Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement. Traitements sur les tronçons hydromorphologiques homogènes de France métropolitaine et sur les masses d'eau du bassin Loire-Bretagne. Mai 2013, mise à jour juillet 2016. Office national de l'eau et des milieux aquatiques.
- Bledsoe B.P., Watson C.C., 2001. Effects of urbanization on channel instability. Journal of the American Water Resources Association, 37 (2), pp. 255-270.
- Bleuse N., Mandard C., 1993. Le régime pluviométrique de la Guadeloupe. La météorologie, 8 (4).
- Booth D.B., Jackson C.R., 1997. Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. Journal of the American Water Resources Association, 33 (5), pp. 1077-1090.
- Bourillon B., Kreutzenberger K., Dézerald O., 2023. Analyse multicritère des effets exercés par les obstacles en cours d'eau sur les communautés biologiques (AMOBIO). Rapport d'avancement scientifique et technique. OFB, INRAE.
- Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), 2015. Etude des besoins de la DEAL Guyane en données d'occupation du sol.
- Chandesris A., Wasson J.G., Pella H., Sauquet E., Mengin N., 2006. Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive cadre européenne sur l'eau. Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. Irstea, 2006, pp. 63. Hal-0.2588807.
- Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.R., Souchon Y., Pella H., Wasson J.G., 2008. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Principes et méthodes. Version 3.1. Cemagref, Onema.
- Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.R., Souchon Y., Wasson J.G., 2009. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Atlas à large échelle. Version 2.0. Cemagref, Onema.
- Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.R., Souchon Y., Valette L., 2011. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Acquisition des données au niveau des tronçons géomorphologiques. Expérience des bassins versants tests. Version 0. Cemagref, Onema.
- Chaplais, S, 2010. Etude des impacts de l'étagement des cours d'eau sur les peuplements piscicoles en Bretagne et Pays de la Loire. Mémoire de Master. Université de Rennes 1 et Office national de l'eau et des milieux aquatiques.
- Cheula A., 2013. Cartographie de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en Martinique. Rapport de Synthèse. Société IGED SASU pour l'IRD, la DEAL et l'ODE.
- Cipriani T., Sauquet E., 2012. Cartographie des débits de référence – Interpolation du module. Irstea.
- DEAL Réunion, 2014. Saint Benoît – Rapport de présentation de la cartographie du risque inondation sur le territoire à risque important.
- De Leeuw J.J., Winter H.V., 2008. Migration of rheophilic fish in the large lowland rivers Meuse and Rhine, the Netherlands. Fisheries Management and Ecology, 15 (5-6), pp. 409-415.
- Frileux L., 2010. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Rapport technique. Ginger-Strategis.

- Gallay M., 2017. Etude de la dynamique hydro-sédimentaire de fleuves tropicaux par mesures in situ et de télédétection : le cas du Maroni, de l'Oyapock et de l'Orénoque. Mémoire de thèse.
- Gallay M., Martinez J.M., Allo S., Mora A., Cochonneau G., Gardel A., Doucou J.C., Sarrazin M., Chow-Toun F., Laraque A., 2018. Impact of land degradation from mining activities on the sediment fluxes in two large rivers of French Guiana. *Land Degradation & Development*, 29 (2018), pp. 4323-4336.
- Groupe de pilotage de l'information géographique sur l'eau (GPIGE), 2022. Evolution du référentiel hydrographique national : de BD Carthage à BD Topage et sa version moyenne échelle. OFB, OIEau/Sandre.
- Groupe technique national (GTN) hydromorphologie, 2012. Compte rendu de la réunion du 08/06/2012 (décision préliminaire à une note de cadrage du Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie en cours de rédaction).
- Groupe technique national (GTN) hydromorphologie, 2020. Atelier de définition des besoins et attentes vis-à-vis du SYRAH-CE en vue de la mise à jour du prochain état des lieux 2025. Compte rendu de la réunion du 16/04/2020.
- Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 2006a. Descriptif de contenu de la BD Carthage version 3.0.
- Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 2006b. Descriptif de livraison au format shapefile de la BD Carthage version 3.0.
- Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 2022. Descriptif de contenu de la BD Topo version 3.0.
- Kreutzenberger K., Gautier-Costard E., Rhoné M., Clavier S., Rey S., Gavril A., 2019. RHYSOG : Réhabilitation hydromorphologique de sites d'orpaillage guyanais. Synthèse de mission d'expertise collective de juin 2019. 35 pages.
- Kreutzenberger K., Sagnes P., Valade P., Voegtli B., 2019. Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons et les macro-crustacés dans les départements insulaires ultramarins. Principes et méthode. Agence française pour la biodiversité. Collection Comprendre pour agir. 176 pages.
- Kreutzenberger K., Voegtli B., Le Bail P.-Y., Valade P., Sagnes P., 2025. Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons et les macro-crustacés en Guyane. Principes et méthode. Office français de la biodiversité. Collection Comprendre pour agir. A paraître.
- Laperche, V., Hellal, J., Maury-Brachet, R., Joseph, B., Laporte, P., Breeze, D., & Blanchard, F., 2014. Regional distribution of mercury in sediments of the main rivers of French Guiana (Amazonian basin). *SpringerPlus*, 3 : 322.
- Lapierre L., 2014. Les ripisylves de Guyane. Caractérisation et axes de protection. Rapport de mission de la DEAL Guyane.
- Letourmy, R., 2012. Relations entre l'étagement des cours d'eau et leur état écologique dans le bassin Loire-Bretagne. Mémoire de Master. Université François Rabelais de Tours et Office national de l'eau et des milieux aquatiques.
- Lind et al. 2019. Towards ecologically functional riparian zones: A meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, 249.
- Malavoi J.R., et Bravard J.P., 2010. Eléments d'hydromorphologie fluviale. Onema, Université de Lyon.
- Martin R., Pluvinet P., Girard V., Grosprêtre L., Vigouroux R., 2014a. Mise en œuvre du référentiel hydrographique ultra-marin (RHUM). Rapport méthodologique. Asconit, Dynamique Hydro, Hydroéco Guyane.
- Martin R., Pluvinet P., Girard V., Grosprêtre L., Vigouroux R., 2014b. Mise en œuvre du référentiel hydrographique ultra-marin (RHUM). Rapport technique. Asconit, Dynamique Hydro, Hydroéco Guyane.
- Miguet P., 2017. Vers des indicateurs de continuité DCE : présentation d'indicateurs existants, méthodes de calcul, confrontation et perspectives d'exploitation. Agence française pour la biodiversité.

- Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES), 2019. Guide d'évaluation de l'état des eaux souterraines. Juillet 2019.
- Montfort M., Ruf L. 2005. Régime hydrologique des fleuves guyanais : étude fréquentielle des débits. DREAL Guyane. Réédition 2009.
- Moor J.F., Reautez D., Culos X., 2014. Note technique pour l'évaluation des pressions sur l'hydrologie liées aux ouvrages dans le cadre de la révision de l'état des lieux 2013. Agence de l'eau Adour-Garonne, département des ressources en eau et des milieux aquatiques, unité hydroélectricité.
- Ouvry J.F., Richet J.B., Saunier M., 2019. Le « rebocagement » : une réponse pertinente face aux enjeux érosifs ? Retour d'expérience du Pays de Gaux. Sciences Eaux & territoires, 4 (30), pp. 54-69.
- Ovidio M., Philippart J.C., 2002. The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse Basin. Hydrobiologia, 483 (1), pp. 55-69.
- Panagos P., Meusburger K., Ballabio C., Borrelli P., Alewell C., 2014. Soil erodibility in Europe : a high-resolution dataset based on LUCAS. Science of the Total Environment, 479-480, pp. 189-200.
- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Percec Tadic M., Michaelides S., Hrabalíková M., Olsen P., Aalto J., Lakatos M., Rymaszewicz A., Dumitrescu A., Begeuria S., Alewell C., 2015. Rainfall erosivity in Europe. Science of the Total Environment, 511, pp. 801-814.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., 2015. A new european slope Length and Steepness Factor (LS-factor) for modelling soil erosion by water. Geosciences, 5, pp. 117-126.
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C., 2015. The new assessment of soil loss erosion by water in Europe. Environmental Science & Policy, 54, pp. 438-447.
- Panchan R., Pinter K., Schmutz S., Unfer G., 2022. Seasonal migration and habitat use of adult barbel (*Barbus barbus*) and nase (*Chondrostoma nasus*) along a river stretch of the Austrian Danube River. Environmental biology of fishes, 105, pp. 1601-1616.
- Pardé M., 1933. Fleuves et rivières. Collection Armand Colin, Paris.
- Pella H., Sauquet E., Chandèsris A., 2006. Construction d'un réseau hydrographique simplifié à partir de la BD Carthage. Ingénierie, n°46, pp. 3-14.
- Pella H., Lejot J., Lamouroux N., Snelder T., 2016. Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 3.
- Riffard M., Andréassian V., Nicolle P., Peschard J., 2012. Combinaison multi-modèle et cartographie de consensus du débit de référence d'étiage et du débit moyen à l'échelle de la France. Irstea.
- Robert et al. 2022. Typologie des ripisylves des rivières de Guadeloupe, un premier pas vers le développement de techniques de génie végétal avec des espèces locales. Sciences Eaux et territoires, 29, pp. 7-14.
- Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (Sandre), 2018. Dictionnaire des données du référentiel hydrographique BD Topage. Version 2. AFB, IGN, Agences de l'eau, OIEau/Sandre.
- Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (Sandre), 2020. Document de présentation – Description du référentiel hydrographique BD Topage. Version 1. IGN, OFB, OIEau/Sandre.
- Schueler T., 1995. The importance of imperviousness. Watershed Protection Techniques, 1 (3), pp. 100-111.
- Tamisier V., Raufaste S., Gob F., Thommeret N. et Bilodeau C., 2017. Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français d'outremer (Carhyce). Spécificités, modalités d'application et valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau. Rapport scientifique CNRS (LGP-LADYSS)/Université de Paris Panthéon-Sorbonne/ESGT/AFB, 128 p.

- Valette L., Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.R., Souchon Y., Wasson J.G., 2008. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Cemagref, Onema.
- Valette L., Cunillera A., 2010. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Cahiers techniques. Cemagref, Onema.
- Valette L., Piffady J., Chandesris A., Souchon Y., 2012. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des 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. Irstea, Onema.
- Valette L., Chandesris A., Souchon Y., 2013. Protocole AURAH-CE. Audit rapide de l'hydromorphologie des cours d'eau. Méthode de recueil d'informations complémentaires à SYRAH-CE sur le terrain. Version 2.0. Onema, Irstea.
- Valette L., Chandesris A., 2014. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Méthodologie d'utilisation des données pour l'aide à la définition des plans d'actions opérationnels territorialisés. Irstea, Onema.
- Valette L., Chandesris A., Piffady J., Souchon Y., 2017. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Mise à jour du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'état des lieux DCE. Irstea.
- Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Maréchal J., 2010. Evaluation des ressources en eau de la Martinique : calcul spatialisé de la pluie efficace et validation à l'échelle du bassin versant. Revue des sciences de l'eau, 23(4), pp. 361-363.

ANNEXES

Annexe 1. Structure des modèles d'évaluation (ou arbres bayésiens)

Annexe 2. Longueur maximale des USRA

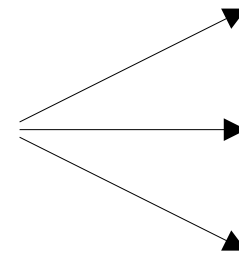
Annexe 3. Classification de la sensibilité naturelle des sols à l'érosion dans l'Hexagone

ANNEXE 1. STRUCTURE DES MODÈLES D'ÉVALUATION (OU ARBRES BAYÉSIENS)

Les 3 éléments de qualité et 10 paramètres élémentaires



Élément de qualité Hydrologie



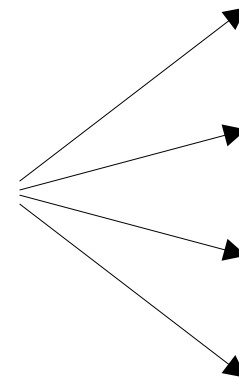
Quantité

Dynamique

Connexion aux masses d'eau souterraines



Élément de qualité Continuité

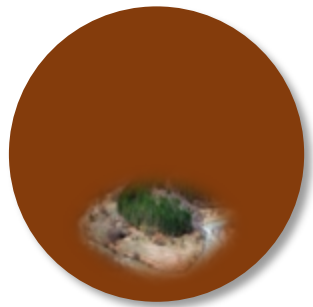


Continuité biologique pour les amphihalins

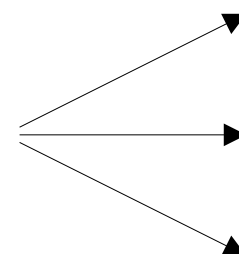
Continuité biologique de proximité

Continuité sédimentaire

Continuité latérale



Élément de qualité Morphologie

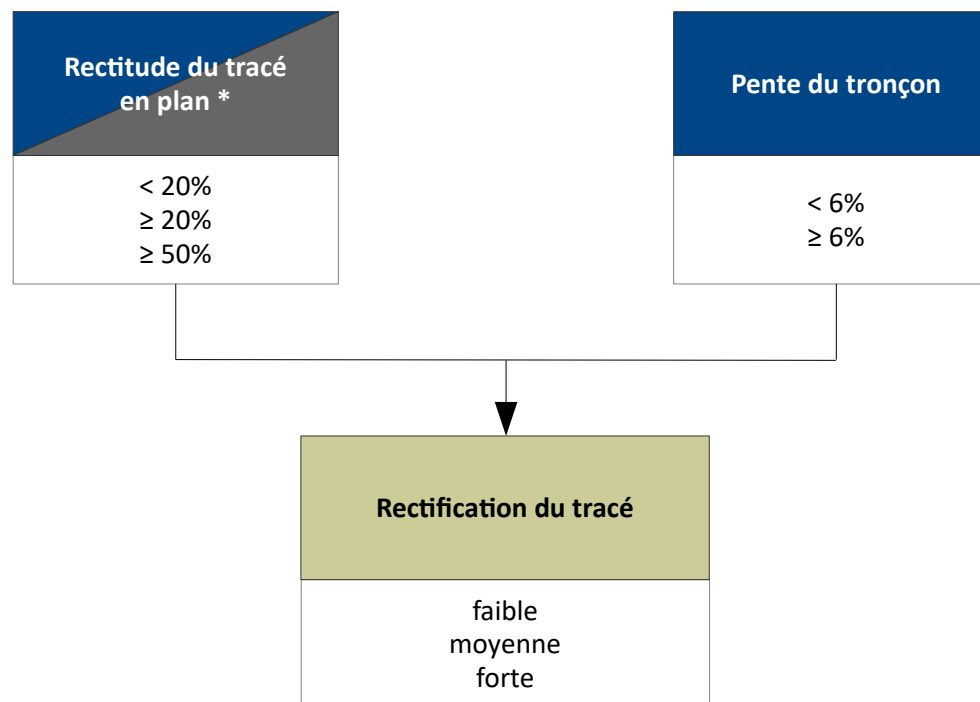


Structure et substrat du lit

Variation de la profondeur et de la largeur du lit

Structure de la rive

Nœud récurrent commun à tous les territoires



* proportion d'USI de sinuosité < 1,05 ;

en Guyane, la classe <20 % est appliquée par défaut partout car le réseau hydrographique numérisé sous-estime largement la sinuosité réelle des cours d'eau



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

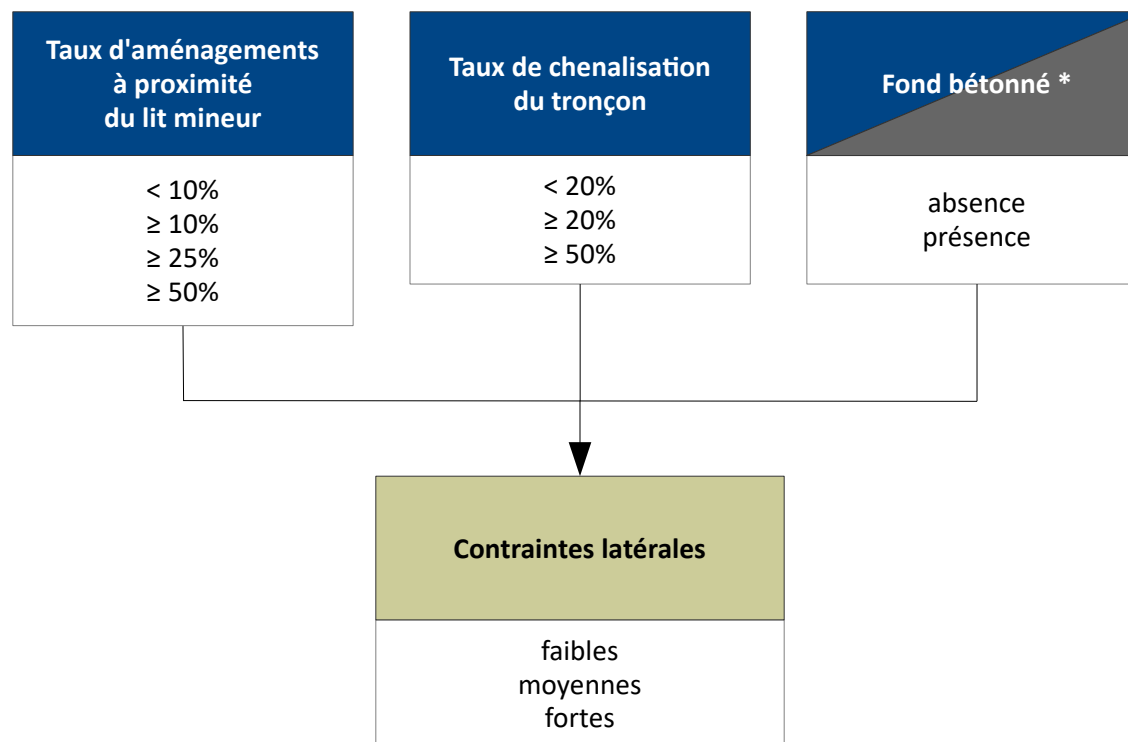
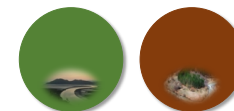


Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

Nœud récurrent commun à tous les territoires



* renseigné à la Martinique et à La Réunion



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

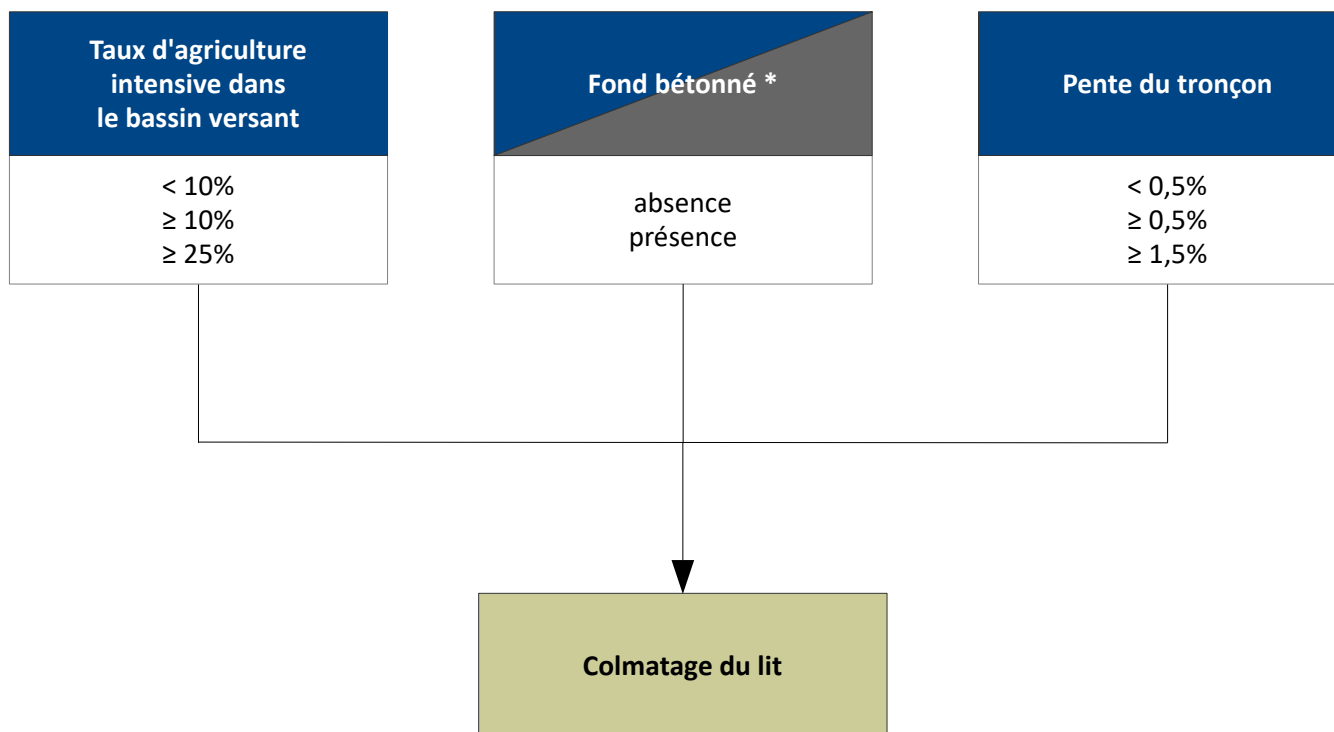
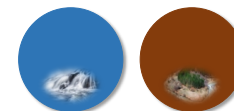


Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

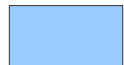
Nœud récurrent spécifique aux DROM insulaires



* renseigné à la Martinique et à La Réunion



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

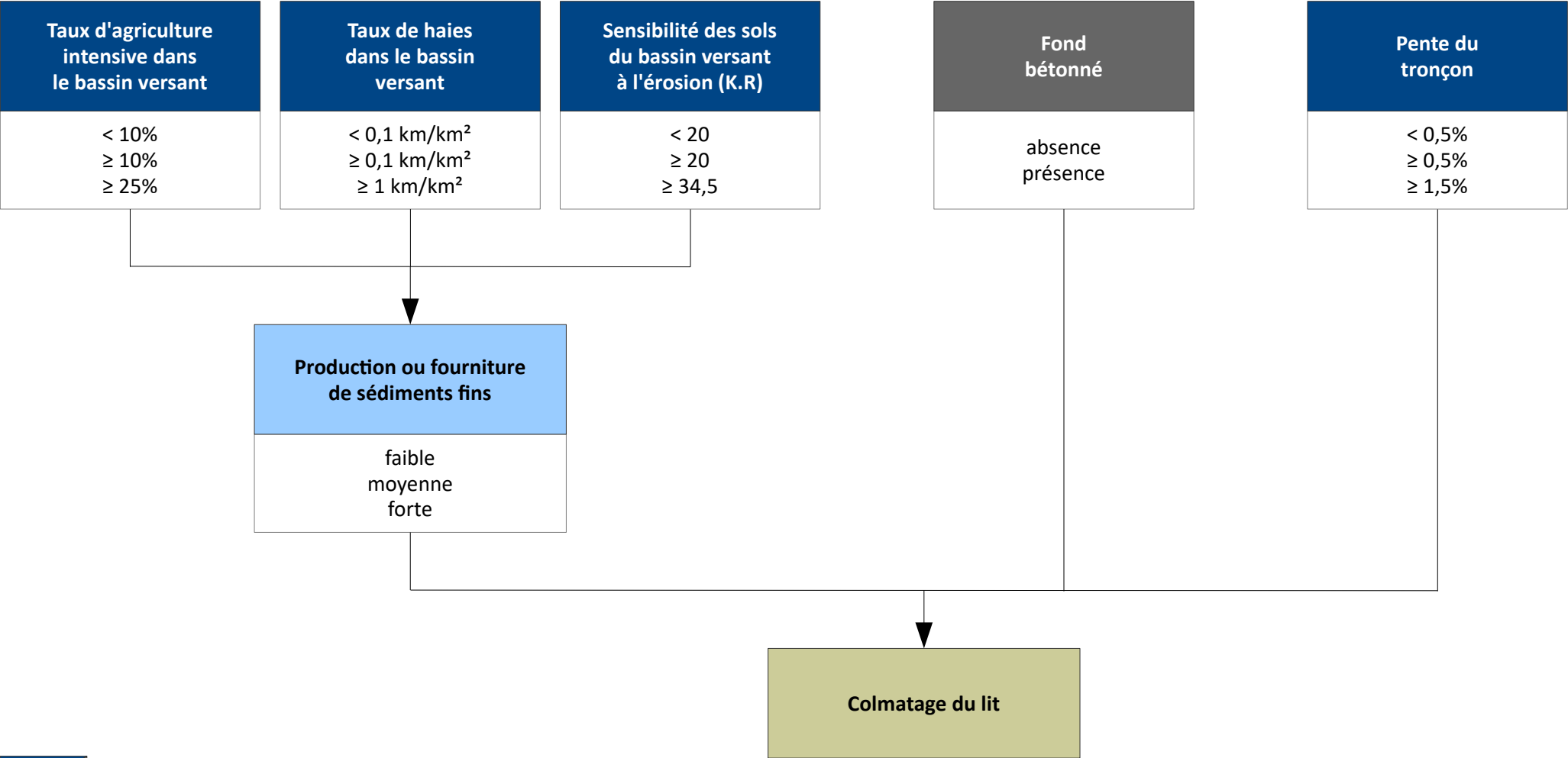
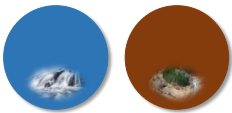



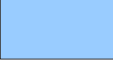
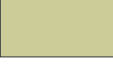
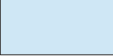
Nœud récurrent



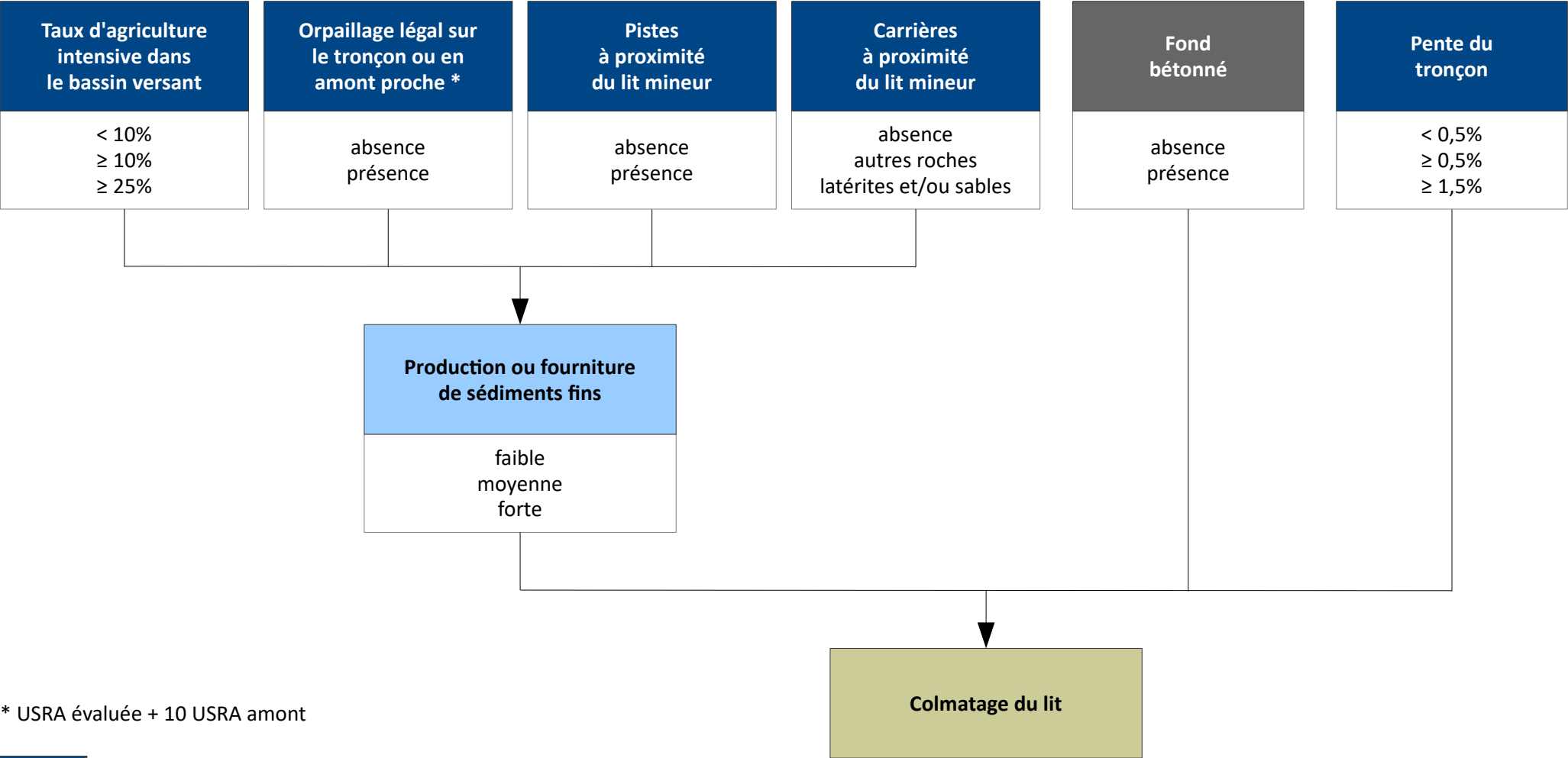
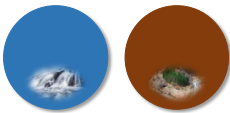
Paramètre élémentaire

Nœud récurrent spécifique à l'Hexagone




-  Descripteur (renseigné / non renseigné)
-  Nœud intermédiaire
-  Nœud récurrent
-  Paramètre élémentaire

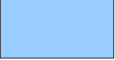
Nœud récurrent spécifique à la Guyane



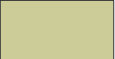
* USRA évaluée + 10 USRA amont




Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

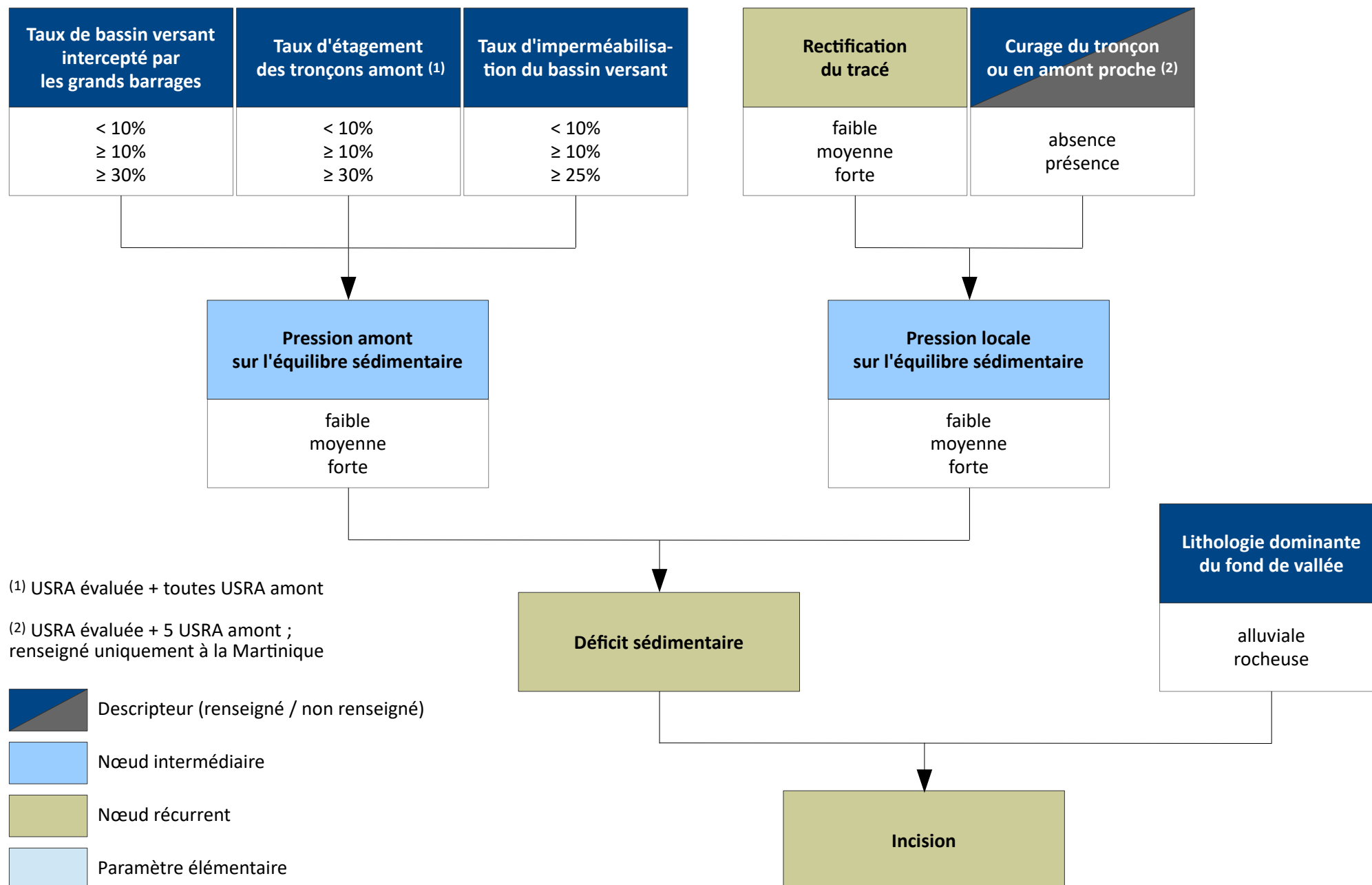


Nœud récurrent

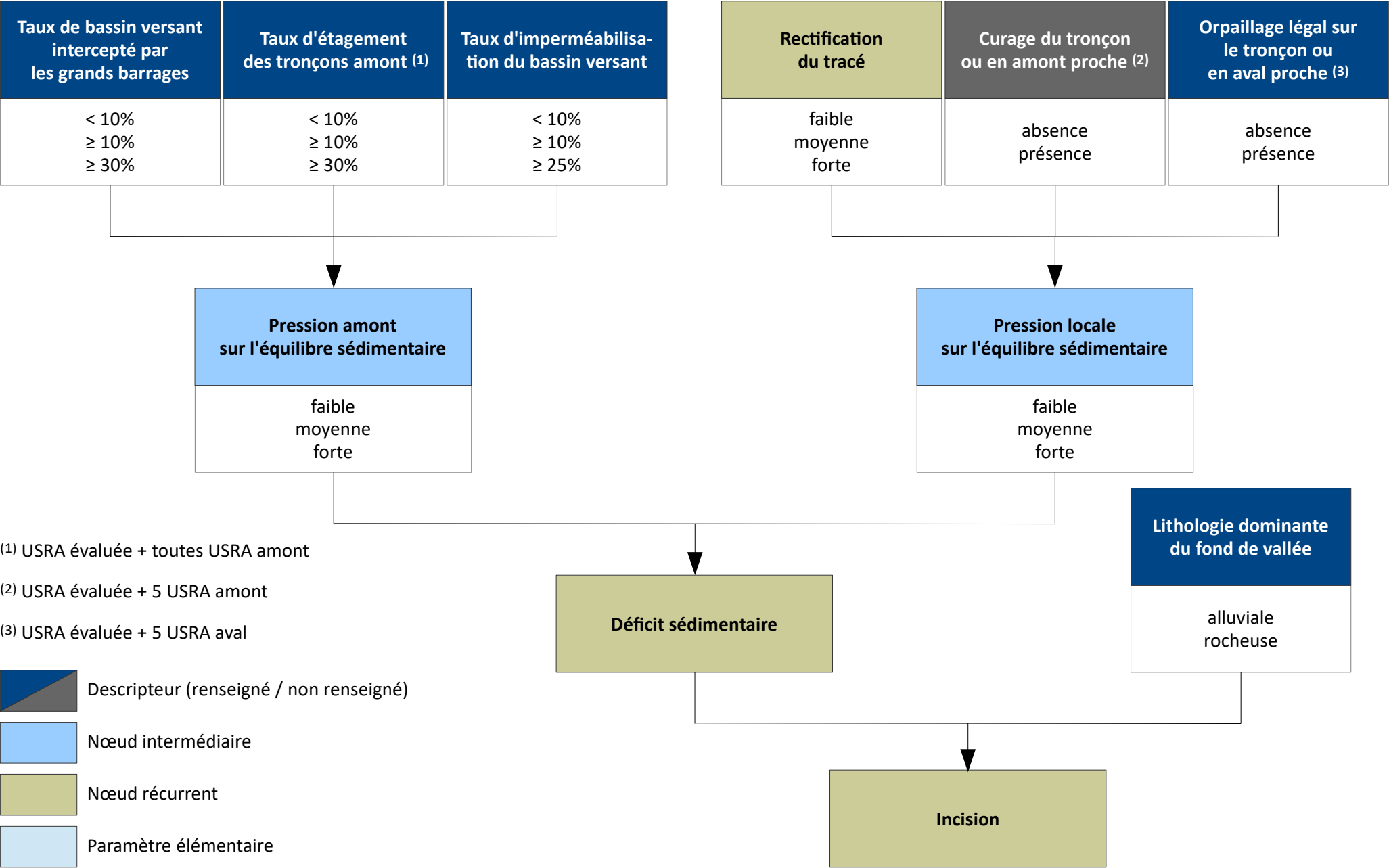


Paramètre élémentaire

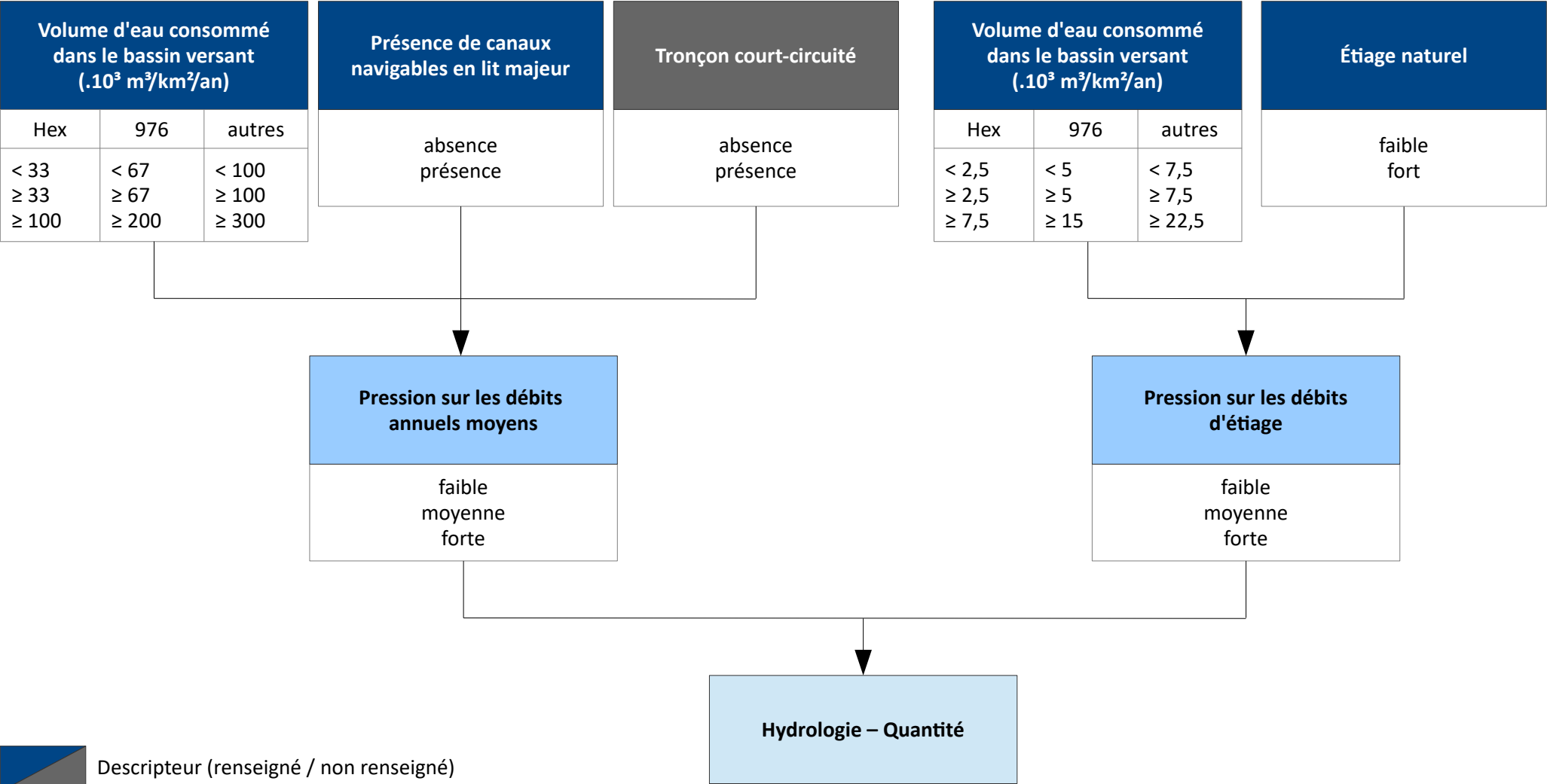
Nœud récurrent spécifique à l'Hexagone et aux DROM insulaires


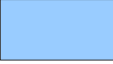
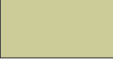



Nœud récurrent spécifique à la Guyane

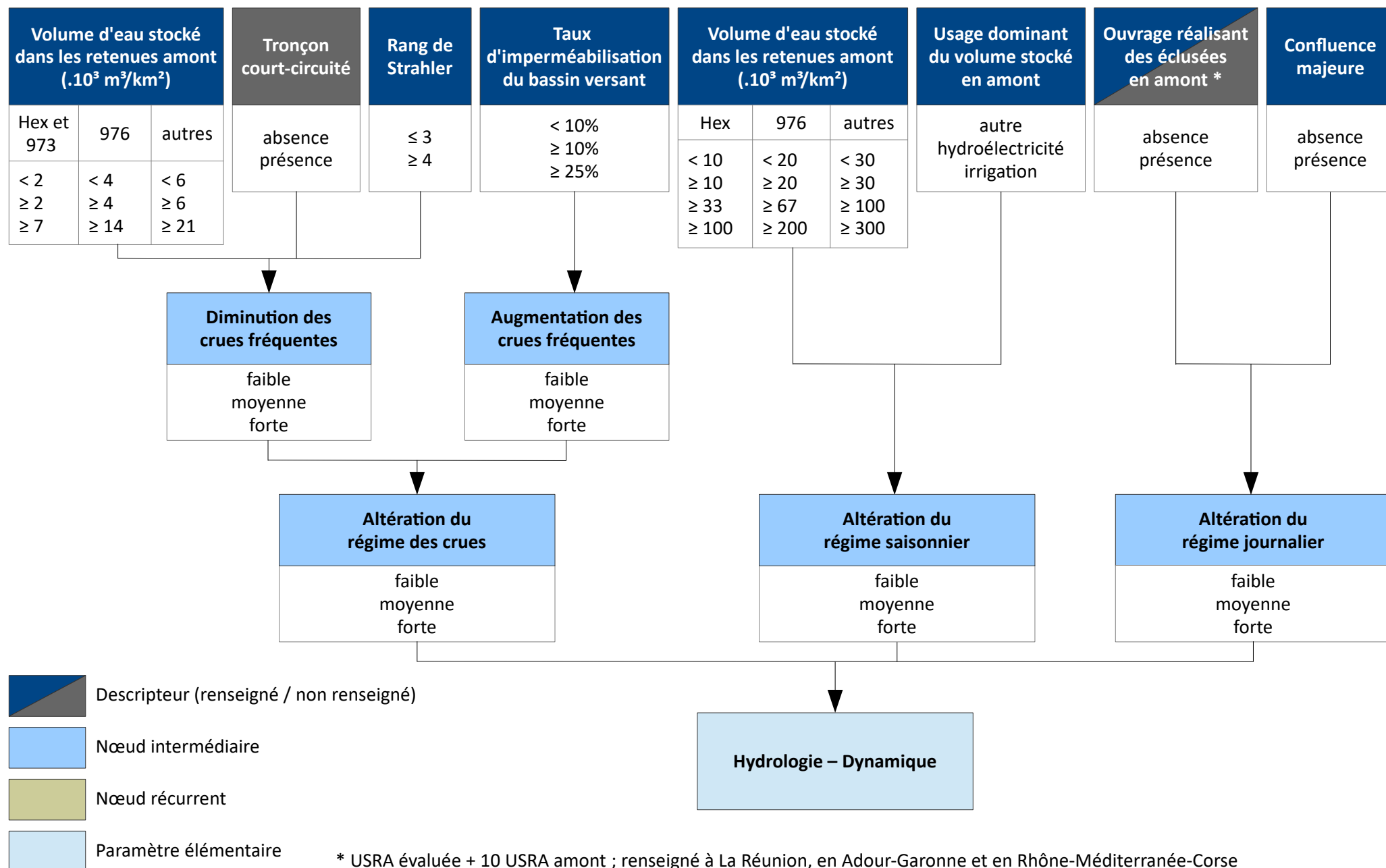


Modèle commun à tous les territoires



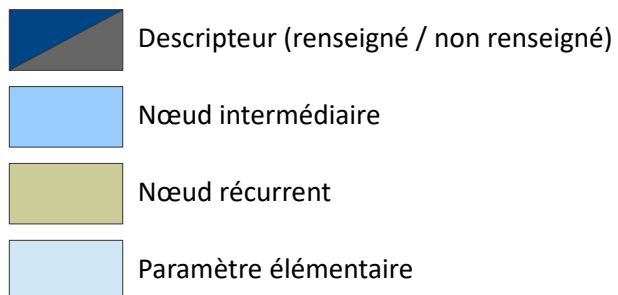
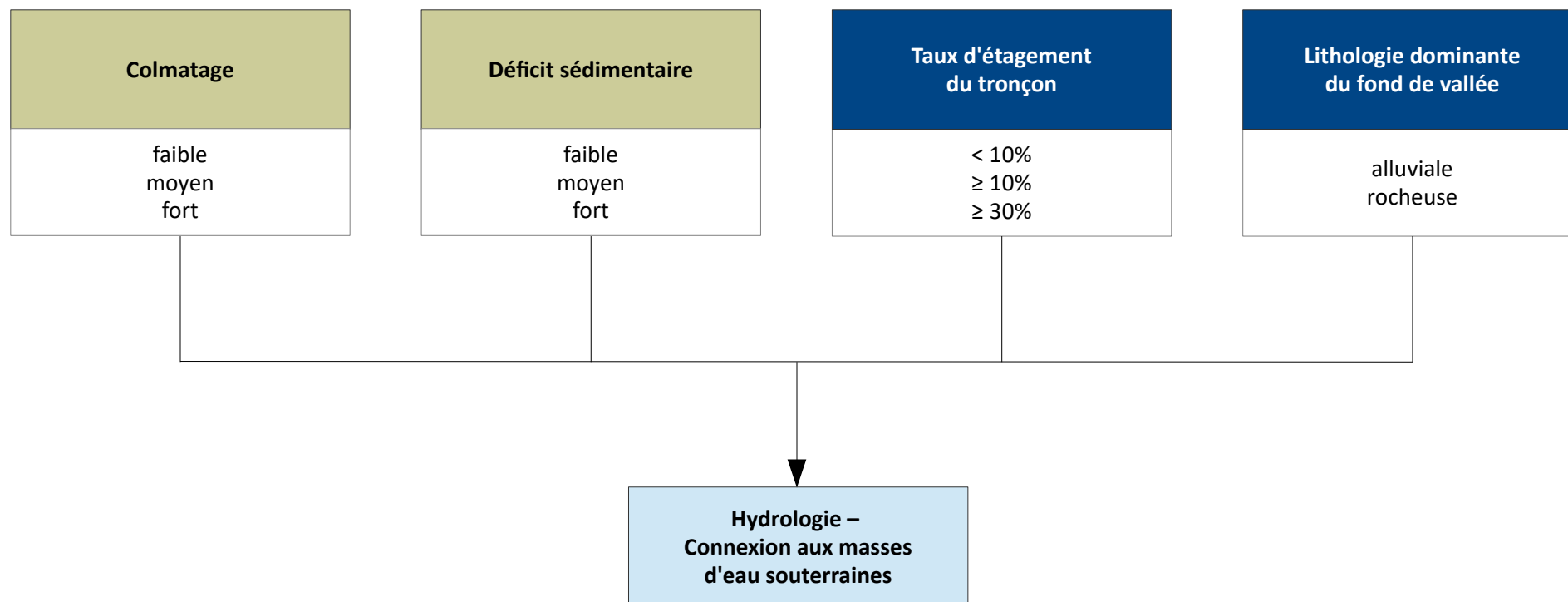
-  Descripteur (renseigné / non renseigné)
-  Nœud intermédiaire
-  Nœud récurrent
-  Paramètre élémentaire

Modèle commun à tous les territoires

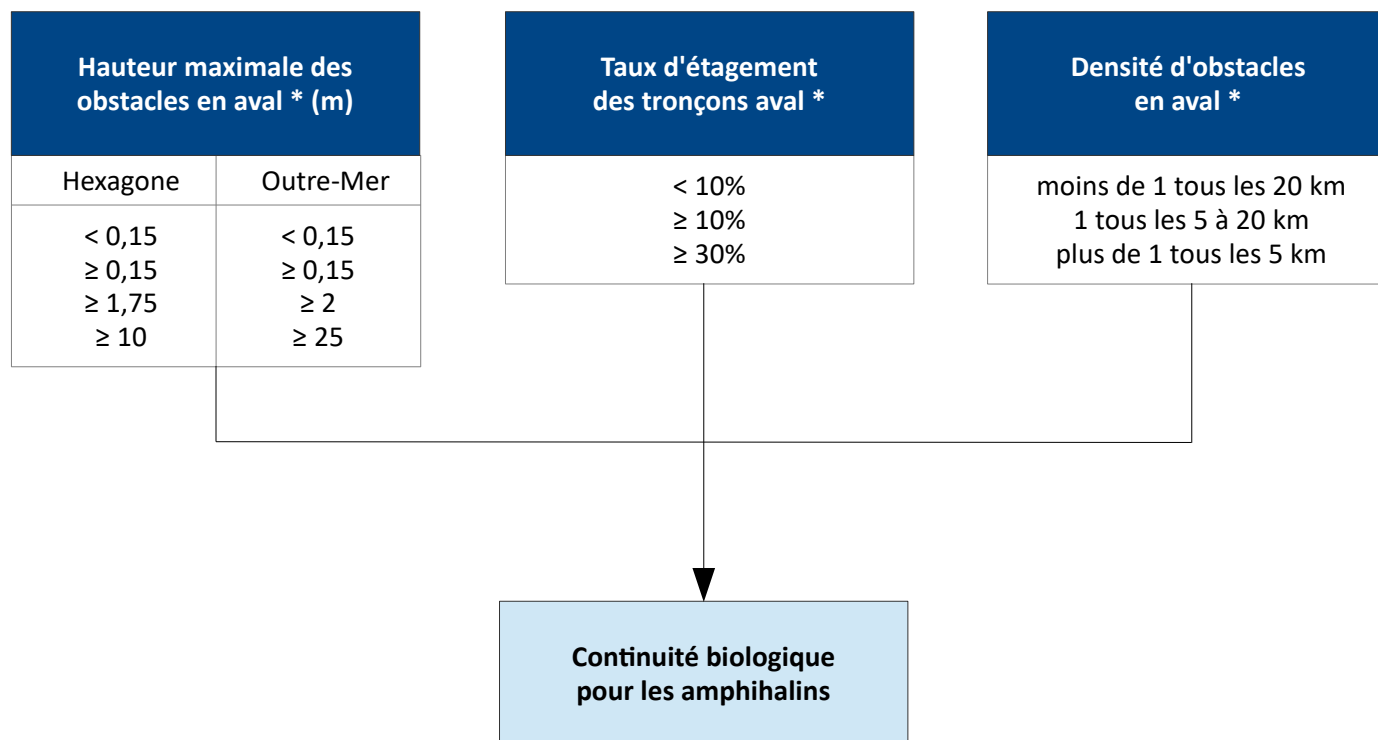


* USRA évaluée + 10 USRA amont ; renseigné à La Réunion, en Adour-Garonne et en Rhône-Méditerranée-Corse

Modèle commun à tous les territoires



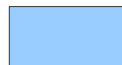
Modèle spécifique à l'Hexagone et aux DROM insulaires



* USRA évaluée + toutes USRA jusqu'aux frontières nationales (mer ou océan dans la plupart des cas)



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

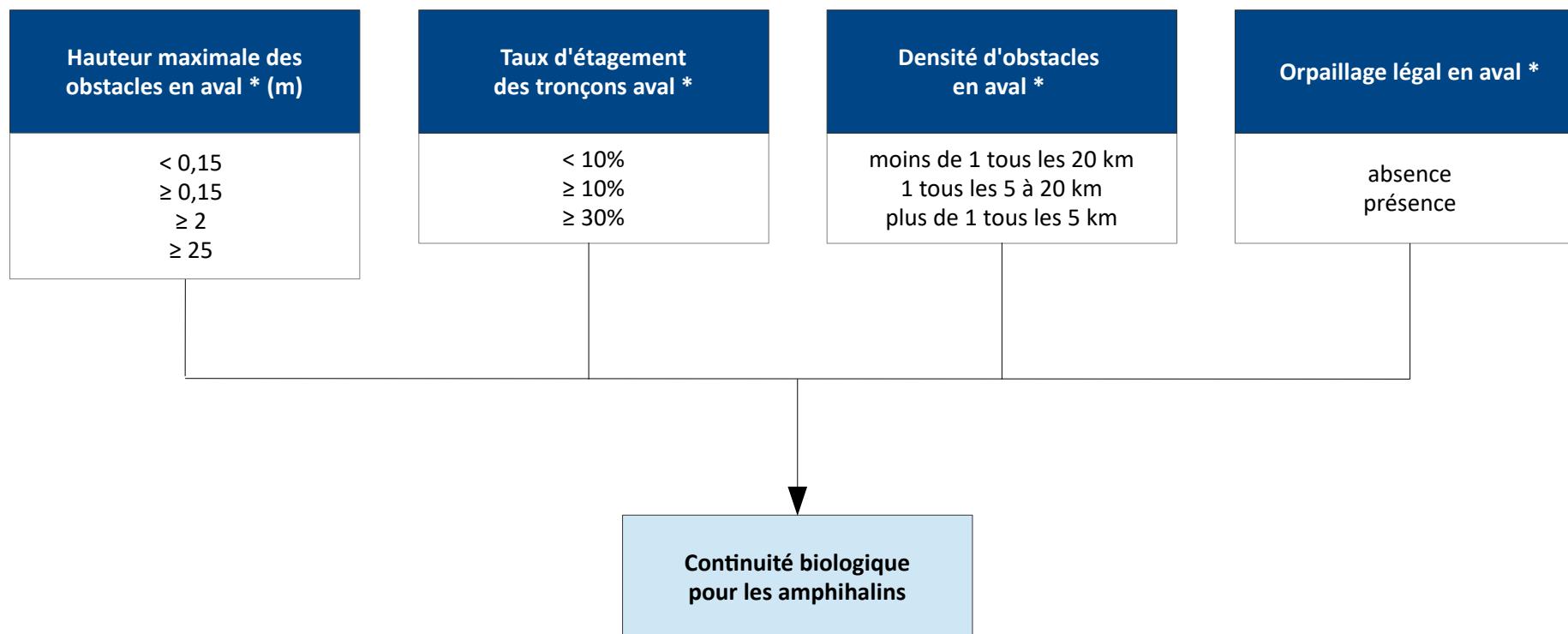


Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

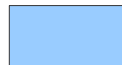
Modèle spécifique à la Guyane



* USRA évaluée + toutes USRA jusqu'aux frontières nationales (mer ou océan dans la plupart des cas)



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

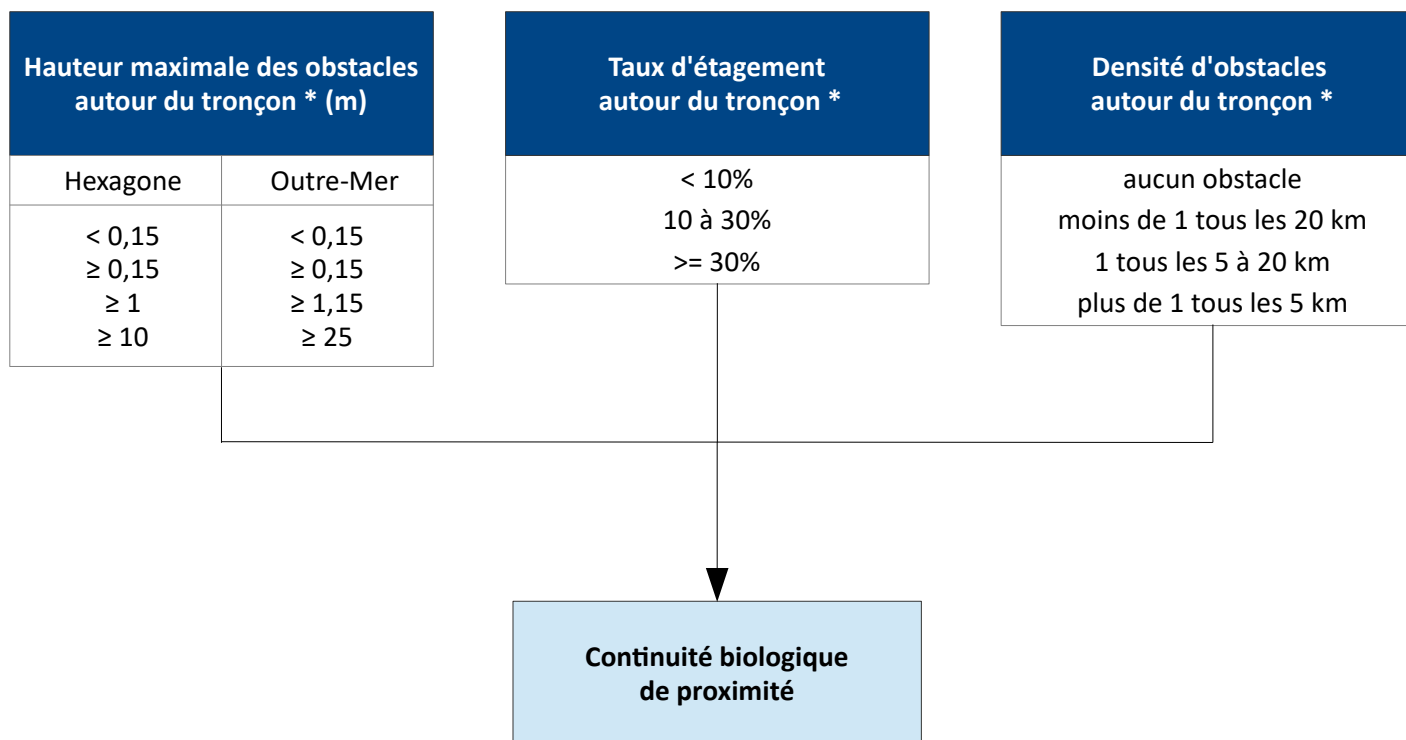


Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

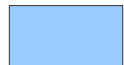
Modèle spécifique à l'Hexagone et aux DROM insulaires



* USRA évaluée + 5 USRA amont + 5 USRA aval



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

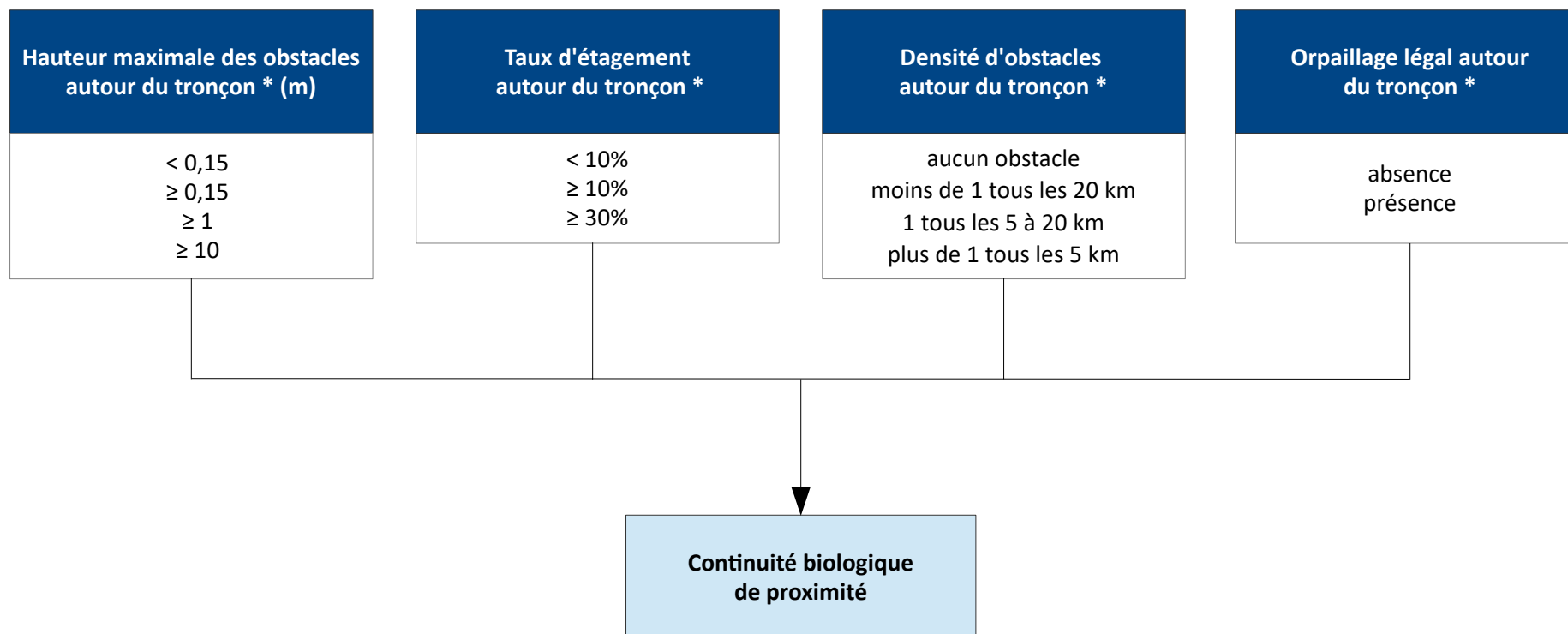


Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

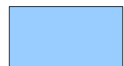
Modèle spécifique à la Guyane



* USRA évaluée + 5 USRA amont + 5 USRA aval



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

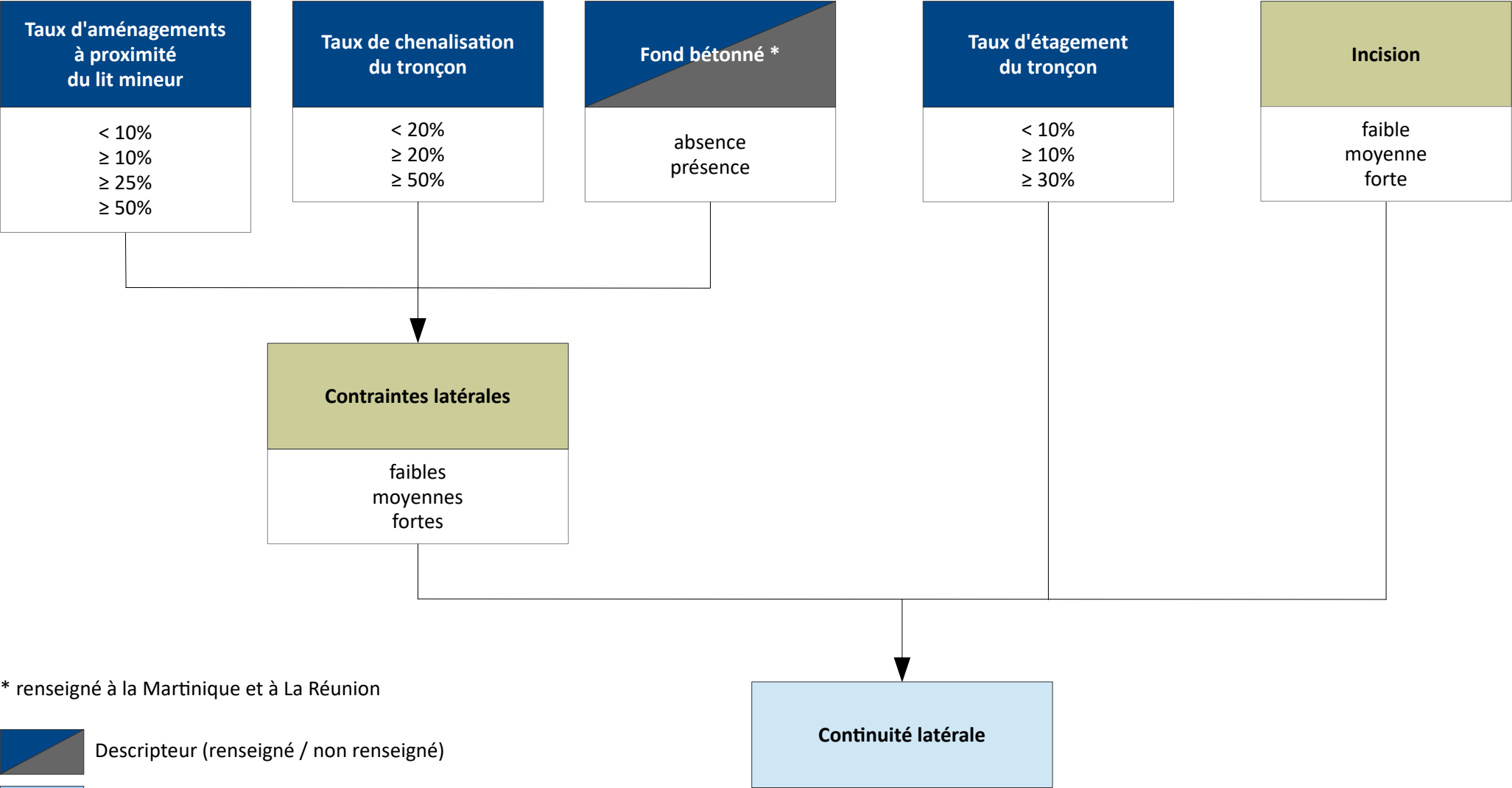


Nœud récurrent


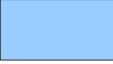
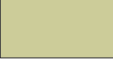



Paramètre élémentaire

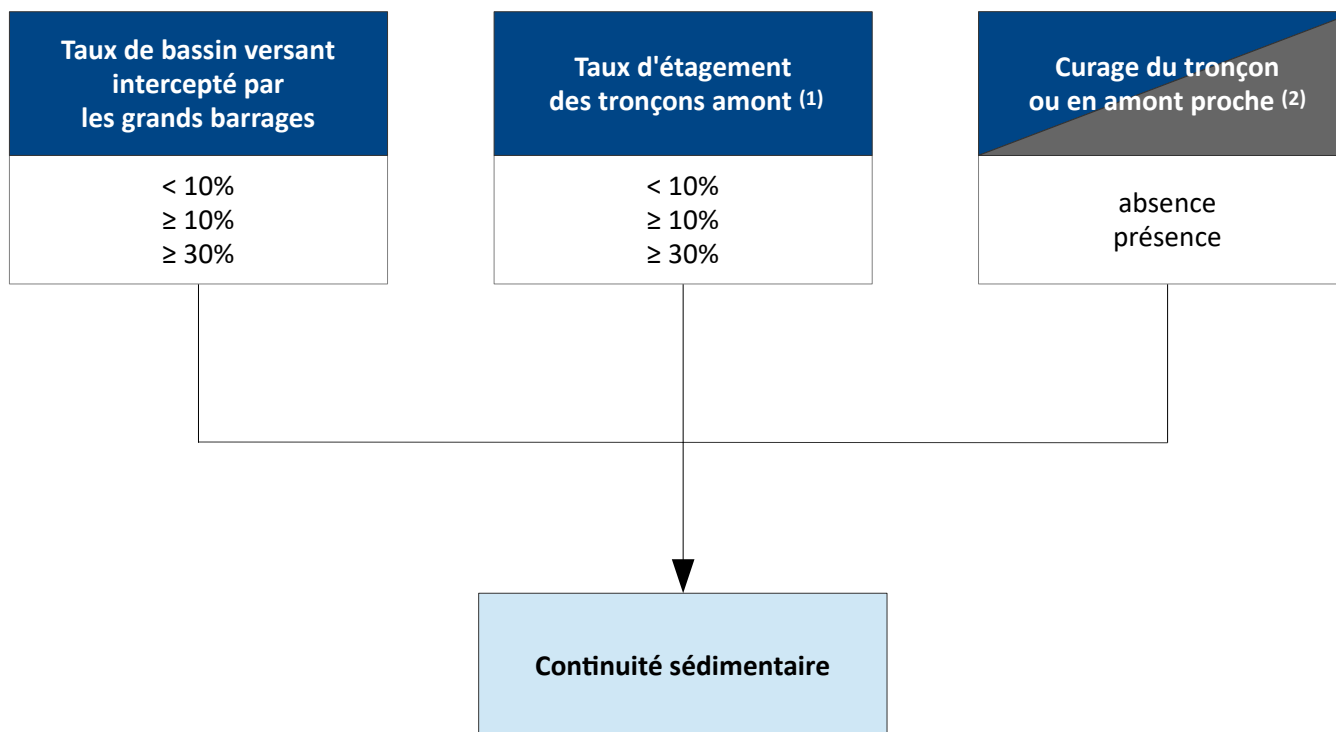
Modèle commun à tous les territoires



* renseigné à la Martinique et à La Réunion

-  Descripteur (renseigné / non renseigné)
-  Nœud intermédiaire
-  Nœud récurrent
-  Paramètre élémentaire

Modèle commun à tous les territoires



(1) USRA évaluée + toutes USRA amont

(2) USRA évaluée + 5 USRA amont ;
renseigné uniquement à la Martinique



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire

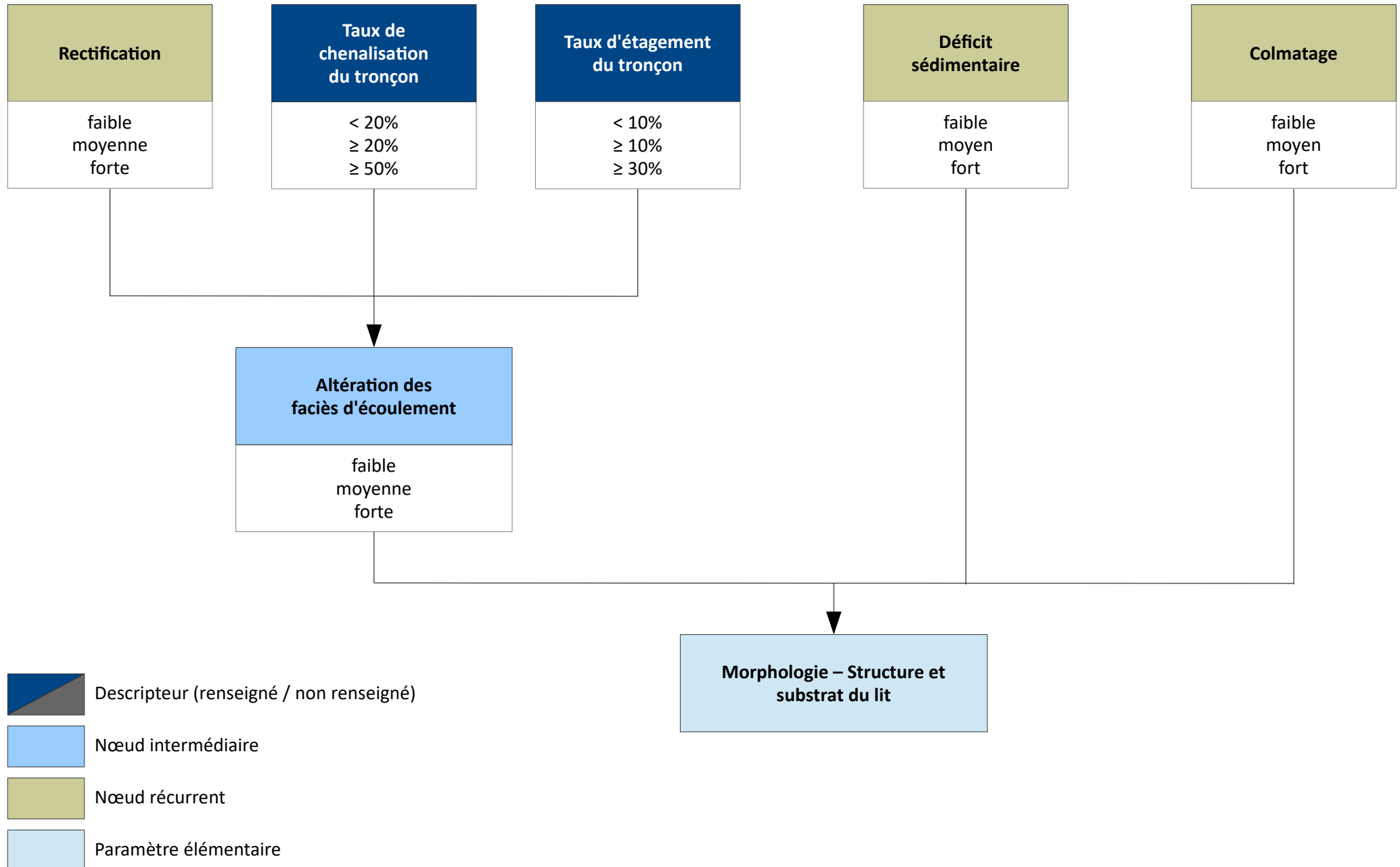


Nœud récurrent

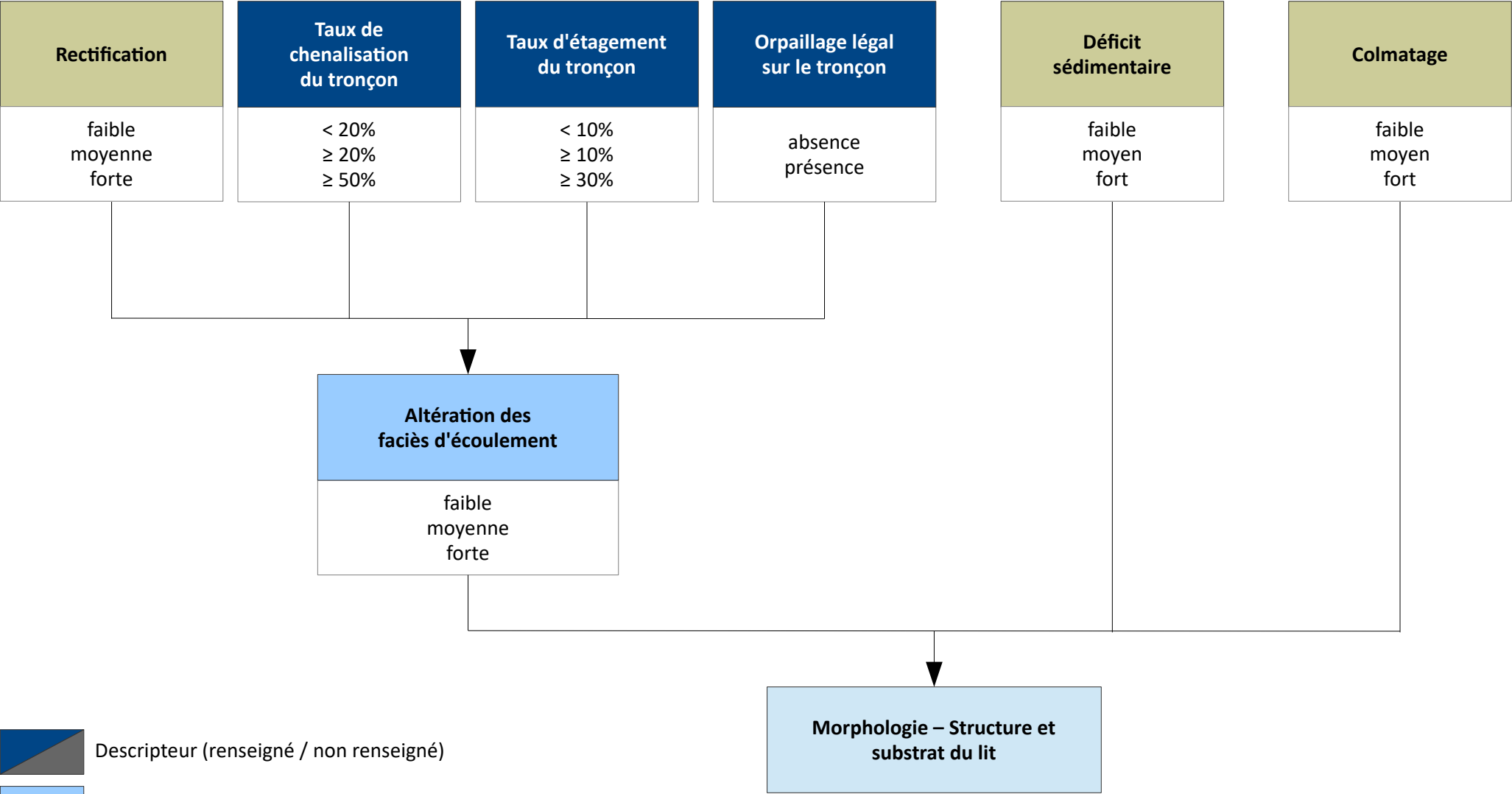



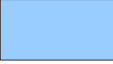
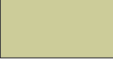

Paramètre élémentaire

Modèle spécifique à l'Hexagone et aux DROM insulaires

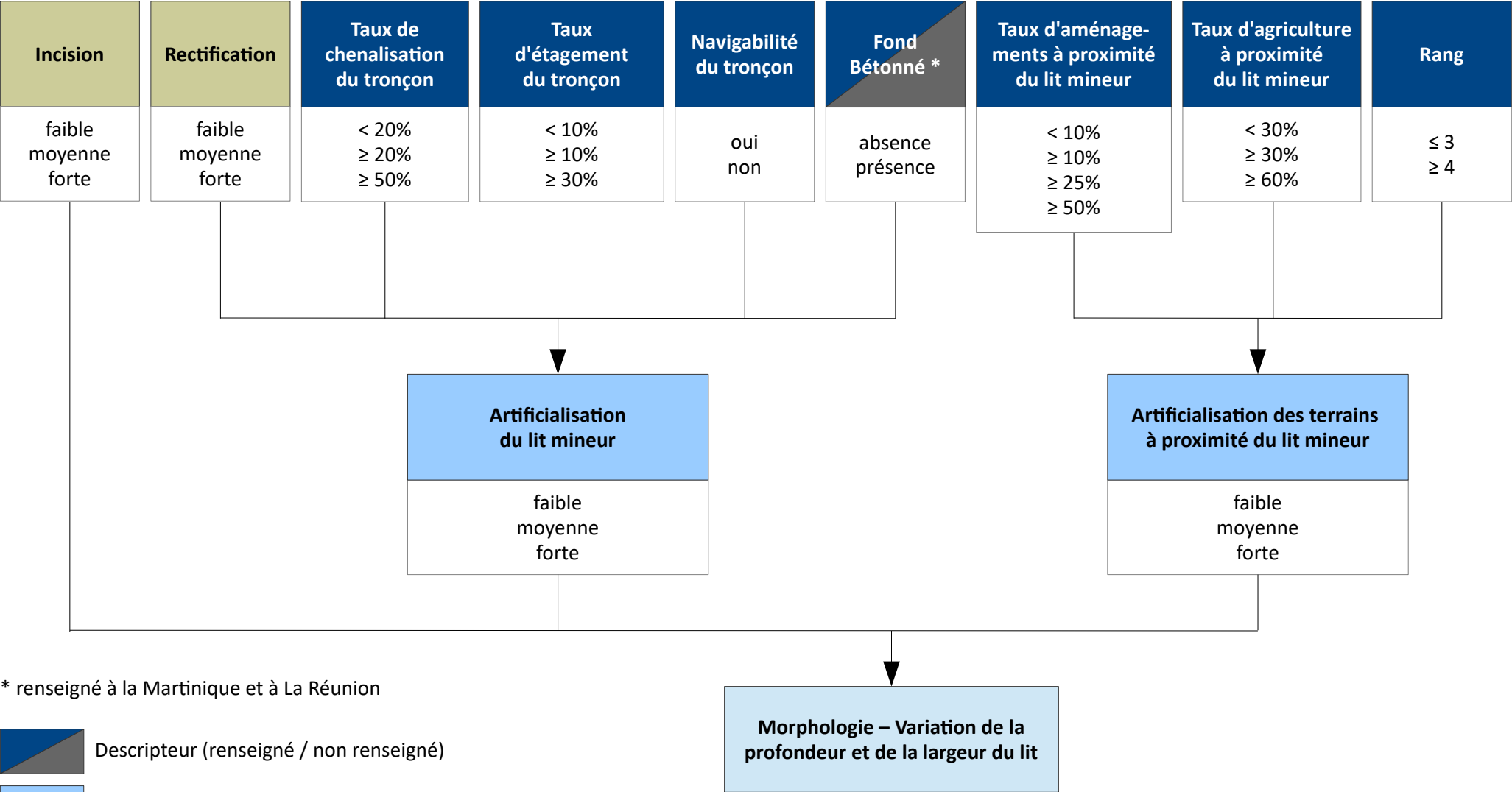


Modèle spécifique à la Guyane



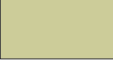



-  Descripteur (renseigné / non renseigné)
-  Nœud intermédiaire
-  Nœud récurrent
-  Paramètre élémentaire

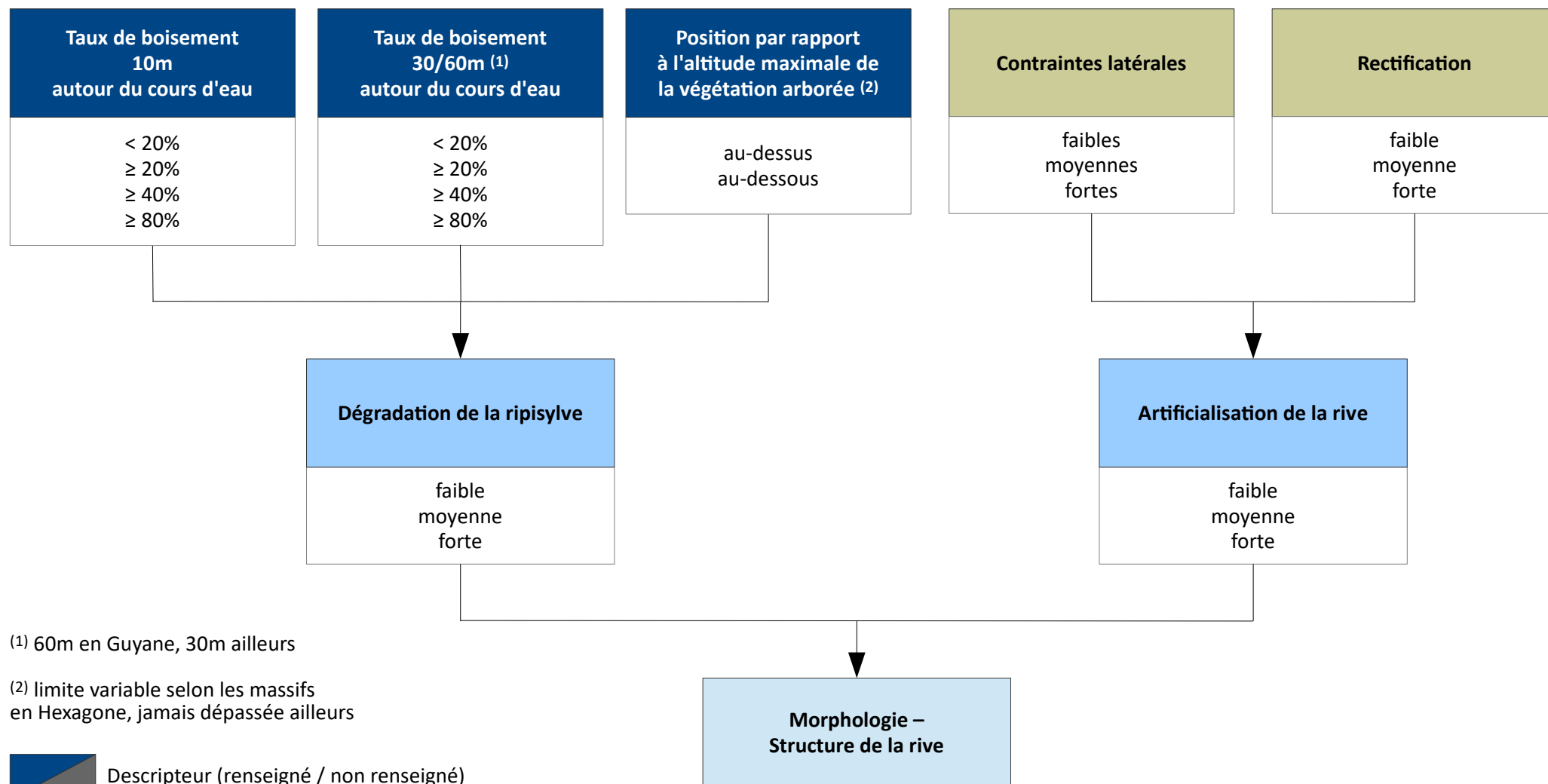
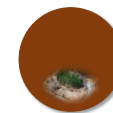
Modèle commun à tous les territoires



* renseigné à la Martinique et à La Réunion

-  Descripteur (renseigné / non renseigné)
-  Nœud intermédiaire
-  Nœud récurrent
-  Paramètre élémentaire

Modèle commun à tous les territoires

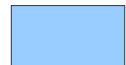


⁽¹⁾ 60m en Guyane, 30m ailleurs

⁽²⁾ limite variable selon les massifs en Hexagone, jamais dépassée ailleurs



Descripteur (renseigné / non renseigné)



Nœud intermédiaire



Nœud récurrent



Paramètre élémentaire

ANNEXE 2. LONGUEUR MAXIMALE DES USRA

Territoire	Région	Rang	W (m)	Longueur maximale (m)	L sur W
Guadeloupe	Grande Terre	0 ou 1	1	200	200
		2	4	500	125
		3	8	1 000	125
		4	15	1 800	120
	Basse Terre	0 ou 1	5	600	120
		2	9	1 000	111
		3	13	1 500	115
		4	21	2 500	119
		5	41	5 000	122
Martinique	Sud & Galion	0 ou 1	3	250	83
		2	5	600	120
		3	8	1 000	125
		4	11	1 300	118
		5	20	2 400	120
	Nord	0 ou 1	2	250	125
		2	4	500	125
		3	14	1 600	114
Réunion	Formation volcanique récente	1	4	500	125
		2	8	1 000	125
		3	11	1 300	118
	Versant Sud Ouest sec	1	7	800	114
		2	10	1 200	120
		3	12	1 400	117
		4	20	2 400	120
	Cirques	1	10	1 200	120
		2	15	1 800	120
		3	25	3 000	120
		4	60	7 000	117
	Versant Nord intermédiaire	0 ou 1	5	600	120
		2	20	2 400	120
		3	25	3 000	120
		4	50	6 000	120
	Versant au vent	1	5	600	120
		2	10	1 200	120
		3	25	3 000	120
		4	30	3 600	120

Territoire	Région	Rang	W (m)	Longueur maximale (m)	L sur W
Guyane	-	0 ou 1	5	600	120
		2	9	1 000	111
		3	15	1 800	120
		4	30	3 600	120
		5	55	6 600	120
		6	75	9 000	120
		7	130	15 000	115
		8	600	70 000	117
Mayotte	-	0 ou 1	1	200	200
		2	4	500	125
		3	7	800	114
		4	10	1 200	120
Hexagone	-	1	2	300	150
		2	4.5	600	133
		3	9	1 100	122
		4	17.5	2 000	114
		5	41	4 500	110
		6	118.75	12 500	105
		7	219.5	22 000	100
		8	422	40 000	95

**ANNEXE 3. CLASSIFICATION DE LA SENSIBILITÉ
NATURELLE DES SOLS À L'ÉROSION DANS L'HEXAGONE**

PRHYMO – NOTE MÉTHODOLOGIQUE SUR LA CLASSIFICATION DE LA SENSIBILITÉ DES SOLS À L'ÉROSION

Estimation de l'aléa érosion des sols

Pour quantifier l'aléa érosion des sols, les modèles de type RUSLE multiplient ensemble 5 facteurs :

- K = érodibilité des sols évaluée en fonction de leur structure, texture et taux de matière organique
- R = érosivité des pluies évaluée en fonction de l'intensité maximale des événements orageux
- SL = influence de la topographie évaluée en fonction de la pente et de la longueur de pente
- C = couverture végétale
- P = pratique agricole

Il s'agit d'une simple multiplication, sans coefficient ni exposant (K.R.SL.C.P). Les 3 premiers facteurs sont naturels alors que les 2 derniers rendent compte de l'utilisation des sols (autrement dit la pression agricole). Pour quantifier la sensibilité naturelle des sols à l'érosion, il faut donc théoriquement multiplier les 3 premiers facteurs (K.R.SL).

Evaluation du risque de colmatage et de l'érosion des sols dans SYRAH-CE

SYRAH-CE évalue le risque de colmatage des cours d'eau en croisant globalement 3 types de descripteurs : ceux qui rendent compte du transport des fines (surlargeur, puissance potentielle naturelle) et ceux qui favorisent la fourniture sédimentaire fines. L'indice d'érosion des sols fait partie de ces derniers. Il a été calculé en multipliant :

- un aléa érosion des sols (carte INRA)
- le pourcentage de surface agricole utile des cantons, assimilable à P
- un coefficient de couverture végétale des terres agricoles (déterminé en fonction des cultures dominantes par canton), assimilable à C

Autrement dit, cet indice s'apparente à $K.R.SL.C^2.P^2$. Il maximise ainsi le poids des pressions agricoles pour s'affranchir de l'aléa érosion naturel. Comme l'a expliqué Laurent Valette (IRSTEA), la méthode a été calée de manière à « faire disparaître » les régions connues pour leur flux de MES naturellement importants comme dans le sud-est de la France.

Evaluation du risque de colmatage dans PRHYMO

L'aléa érosion des sols ne nous intéresse pas. Comme dans SYRAH-CE, l'aléa naturel doit être exclu pour n'évaluer que la part des pressions agricoles sur le surcroît d'érosion des sols puis le colmatage des cours d'eau. Mais on peut tenir compte de la sensibilité intrinsèque des sols à l'érosion, en considérant que les pressions agricoles représentent un risque d'altération plus élevé quand elles s'exercent dans une région naturellement sensible à l'érosion des sols.

Les données de l'ESDAC (European Soil Data Center) permettent de calculer **K.R.SL** dans l'Hexagone. Mais aucune donnée n'est disponible en Outre-mer.

Dans l'Hexagone, la cartographie du produit K.R.SL fait largement ressortir les régions escarpées ou montagneuses et en particulier les Alpes, les Pyrénées et la Corse. Cela provient de l'influence du facteur SL qui a le même poids que les autres facteurs dans la valeur absolue de K.R.SL mais un poids beaucoup plus important dans sa dispersion. A l'échelle du pixel, les distributions statistiques des 3 facteurs peuvent être résumées de la manière suivante :

- K a une distribution normale (ou distribution de Gauss), un rapport K90/K10 de 2,1 (90^{ème} centile divisé par le 10^{ème} centile) et un rapport Kmax/Kmin de 11 ;
- R a une distribution légèrement dissymétrique, un rapport R90/R10 de 3,0 et un rapport Rmax/Rmin de 10 ;
- SL a une distribution très dissymétrique, un rapport SL90/SL10 de 32 et un rapport SLmax/SLmin de 23 600.

La sensibilité à l'érosion des sols, les pressions agricoles et le risque de colmatage sont calculés à l'échelle du bassin versant. Les bassins versants sont déterminés à partir des zones hydrographiques de la BD Carthage. Les différences entre les zones hydrographiques peuvent être résumées de la manière suivante :

- les valeurs moyennes de K varient entre 0,010 et 0,061 soit un rapport max/min de 6 ;
- les valeurs moyennes de R varient entre 288 et 2130 soit un rapport max/min de 7 ;
- les valeurs moyennes de SL varient entre 0,12 et 13 soit un rapport max/min de 111.

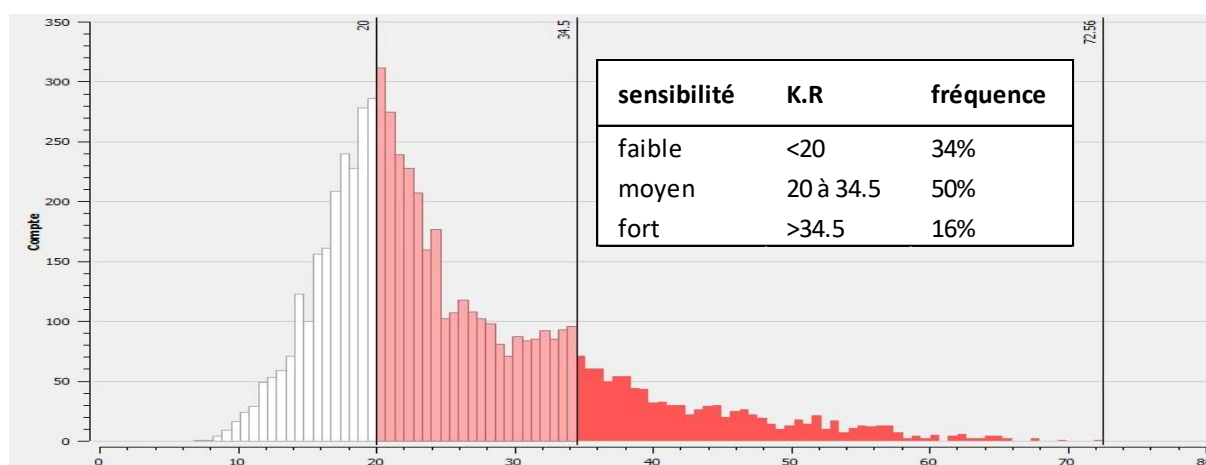
Et les différences au sein des zones hydrographiques peuvent être résumées de la manière suivante :

- le coefficient de variation moyen de R est seulement de 0,06, ce qui signifie que 2/3 des pixels ont une valeur comprise entre -3 et +3% de la valeur moyenne de R au sein d'une zone hydrographique ;
- le coefficient de variation moyen de K est de 0,13, ce qui signifie que 2/3 des pixels ont une valeur comprise entre -6,5 et +6,5% de la valeur moyenne de K au sein d'une zone hydrographique ;
- le coefficient de variation moyen de SL est de 0,91, ce qui signifie que le plupart des pixels (moins des 2/3 car la distribution est dissymétrique) ont une valeur comprise entre -45 et +45% de la valeur moyenne de SL au sein d'une zone hydrographique.

En résumé, on constate que **le facteur SL varie fortement entre les zones hydrographiques mais aussi dans une même zone hydrographique. Ce dernier point limite fortement sa représentativité** car les parcelles cultivées ne représentent en général qu'une faible part de la zone hydrographique, et leur localisation au sein de la zone hydrographique est fortement corrélée à la topographie. En région de montagne, on ne cultive pas les versants les plus escarpés tels que les falaises et éboulis mais les plateaux, les terrasses ou les petites plaines alluviales en fond de vallée. La pente des terrains cultivés dans ces régions peut être supérieure à celles des grands bassins sédimentaires (bassin parisien, bassin aquitain) mais dans une mesure bien moindre que ce que suggère le facteur SL. Donc nous écartons le facteur S.L.

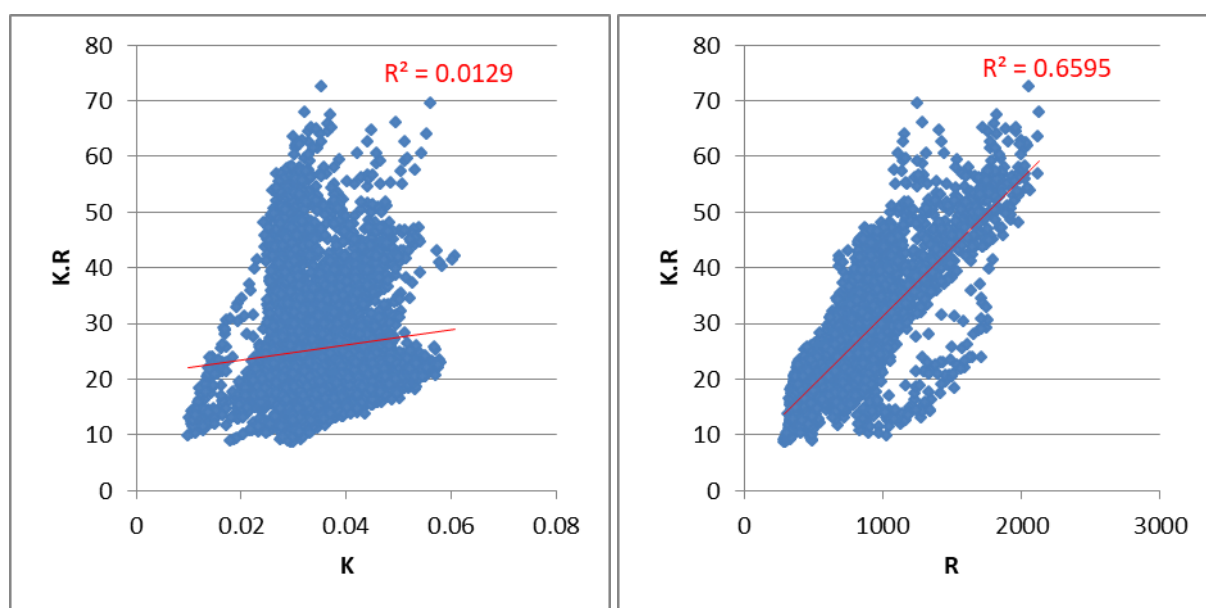
Par conséquent, nous évaluons la sensibilité naturelle des sols à l'érosion à partir du produit K.R qui rend compte à la fois de l'érodibilité des sols et de l'érosivité des pluies. Et nous distinguons 3 classes de sensibilité compte tenu de la distribution statistique de K.R :

- la classe « faible » correspond aux zones hydrographiques dont la valeur de K.R est inférieure au mode (20 environ) et représente environ un tiers de l'effectif ;
- la classe « moyenne » s'étend jusqu'à la valeur de 34,5 qui correspond à un seuil naturel (les effectifs chutent rapidement au-delà) et représente environ la moitié de la valeur maximale de K.R ;
- la classe « forte » ne représente que 16% des zones hydrographiques, et se concentre principalement dans le pourtour méditerranéen et dans la vallée du Rhône.



Distribution statistique de K.R et classes de sensibilité des sols à l'érosion des zones hydrographiques

Précisons que ce sont les pluies (R) qui expliquent la majeure partie des variations de K.R entre les zones hydrographiques, donc le zonage final :



Relations entre K.R et K puis R (chaque point correspond à une zone hydrographique)

Le résultat final est le suivant :

Sensibilité des sols à l'érosion



0 100 200
Km

Classification des zones hydrographiques selon leur sensibilité des sols à l'érosion



www.dynamiquehydro.fr

Lyon

(siège social)

4 rue Chinard

69009 Lyon

04 78 83 68 89

Annecy

La Tuilerie - 541 route des Marais

74410 Saint-Jorioz

07 60 69 74 74

