

# Développement méthodologique et informatique du Référentiel Hydromorphologique UltraMarin applicable à la Guadeloupe, à la Guyane, à la Martinique, à la Réunion et à Mayotte

## 1. Contexte

L'hydromorphologie doit être prise en compte dans l'état des lieux DCE de toutes les masses d'eau de surface et l'évaluation régulière des caractéristiques des sites du programme de surveillance dans un but de diagnostic d'état des milieux, d'identification des causes d'altération de la biologie et de conception de programmes de mesures efficaces pour la préservation ou la restauration du bon état écologique. En outre, la qualification de ces éléments est indispensable au classement en très bon état pour les masses d'eau de surface.

Dans son rapport daté de 2006 «Évaluation des états des lieux des bassins métropolitains, 1ère phase de la mise en œuvre de la DCE», l'Inspection Générale de l'Environnement relevait la nécessité, pour l'ensemble des acteurs impliqués dans les états des lieux, de se pourvoir de méthodes et guides homogènes d'évaluation que ce soit dans l'acquisition de données de pression, relevant alors les plus significatives, comme dans le pronostic de leur évolution, notamment pour le suivi de la morphologie des cours d'eau (recommandation 5).

Le Référentiel Hydromorphologique UltraMarin (RHUM) a été développé pour répondre à ce besoin : il vise à évaluer le(s) risque(s) d'altérations physiques des cours d'eau susceptible(s) d'empêcher l'atteinte du bon état écologique.

Dans le cadre de l'actualisation des états des lieux 2019, obligation faite aux États Membres de l'UE, le ministère a positionné le Référentiel Hydromorphologique UltraMarin comme socle principal pour l'analyse et l'évaluation harmonisée des gradients de pressions hydromorphologiques et des risques d'altération des cours d'eau d'Outre-Mer qui en découlent.

## 2. Qu'est-ce que le Référentiel Hydromorphologique UltraMarin ?

Le Référentiel Hydromorphologique UltraMarin est un système d'aide à la décision dont le développement méthodologique a été initié dès 2012 par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB ; Ex Office national de l'eau et des milieux aquatiques) en collaboration avec les offices de l'eau (OE) et de la direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Mayotte (DEAL) ; et dont la conception et la validation technique a été assurée par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB ; Ex Office national de l'eau et des milieux aquatiques) en coordination du groupement de prestation Asconit-Dynamique Hydro-Hydreco. Le portage administratif effectif du marché de prestation a été réalisé par l'ODE Martinique. Le portage financier a été assuré pour 50% par l'AFB ajoutés de 10% pour chaque OE ou DEAL (dans le cas de Mayotte) dans le cadre de la solidarité interbassins.

Le système comprend 2 types de données :

- (1) une composante géographique et cartographique permettant l'évaluation des pressions s'exerçant sur les cours d'eau et réalisée à partir de données disponibles à l'échelle nationale
- (2) une composante statistique et probabiliste permettant l'évaluation des risques d'altération hydromorphologique à partir des pressions

Les pressions sont disponibles à l'échelle de tronçons de cours d'eau tandis que les risques d'altération hydromorphologique sont également disponibles à celle des masses d'eau DCE, par paramètre élémentaire DCE.

Plus précisément, le système fonctionne selon une hiérarchie descendante, visant à caractériser, à plusieurs échelles spatiales, latérales et longitudinales (le bassin-versant, le lit majeur, le lit mineur), les pressions anthropiques (activités et occupations des sols déclinées en aménagements comme en usages) susceptibles d'induire des modifications des processus et des structures conditionnant le milieu physique. Ces altérations hydromorphologiques d'origine non naturelle entraînent une modification des formes naturelles des cours d'eau et de leurs habitats associés. Le Référentiel Hydromorphologique UltraMarin vise à identifier le risque d'altération hydromorphologique et à évaluer l'inhérente dégradation de l' « État écologique ».

Sont ainsi joints ci –après les éléments de référence, expliquant la démarche de construction du système.

L'utilisateur est alerté sur le fait que les données brutes du Référentiel Hydromorphologique UltraMarin, en tant que système d'appui à la décision, **ne rendent pas compte du rendu final des états des lieux**. Les états des lieux bénéficient en effet de phases de concertation et d'échanges autour des données brutes visant à valider, ou invalider selon cas, l'ensemble des résultats.

### 3. Constitution du comité de pilotage du projet

#### *Institutionnels techniques : responsables de la validation technique locale*

Office de l'eau (ODE)		
Guadeloupe	Sophie KANOR	<a href="mailto:sophie.kanor@office-eauquadeloupe.fr">sophie.kanor@office-eauquadeloupe.fr</a>
Martinique*	Julie GRESSER Fabian RATEAU <sup>Abs</sup> Pascaline LORICOURT <sup>Abs</sup>	<a href="mailto:julie.gresser@eaumartinique.fr">julie.gresser@eaumartinique.fr</a> <a href="mailto:fabian.rateau@eaumartinique.fr">fabian.rateau@eaumartinique.fr</a> <a href="mailto:pascaline.loricourt@eaumartinique.fr">pascaline.loricourt@eaumartinique.fr</a>
Réunion	Faïçal BADAT Julien BONNIER Alexandre MOULLAMA	<a href="mailto:fbadat@eaureunion.fr">fbadat@eaureunion.fr</a> <a href="mailto:jbonnier@eaureunion.fr">jbonnier@eaureunion.fr</a> <a href="mailto:amoullama@eaureunion.fr">amoullama@eaureunion.fr</a>
Guyane	Xavier GOOSSENS Franck Chow TOUN	<a href="mailto:xavier.goossens@office-eauguyane.fr">xavier.goossens@office-eauguyane.fr</a> <a href="mailto:franck.chow-toun@office-eauguyane.fr">franck.chow-toun@office-eauguyane.fr</a>
Mayotte	Sans office	

\* et de la coordination administrative

<b>Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL)</b>		
<b>Guadeloupe</b>	Aurélie DERACO Joel LI-TSOE Caroline QUERE Alain REUGE	<a href="mailto:aurelie.deraco@developpement-durable.gouv.fr">aurelie.deraco@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:joel.li-tsoe@developpement-durable.gouv.fr">joel.li-tsoe@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:caroline.quere@developpement-durable.gouv.fr">caroline.quere@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:alain.reuge@developpement-durable.gouv.fr">alain.reuge@developpement-durable.gouv.fr</a>
<b>Martinique</b>	Corinne FIGUERAS <sup>Abs</sup> Jean-Pierre GOUT Pascal MARRAS	<a href="mailto:corinne.figueras@developpement-durable.gouv.fr">corinne.figueras@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:jean-pierre.gout@developpement-durable.gouv.fr">jean-pierre.gout@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:pascal.marras@developpement-durable.gouv.fr">pascal.marras@developpement-durable.gouv.fr</a>
<b>Réunion</b>	Cécile REILHES Sabine STAAL	<a href="mailto:cecile.reilhes@developpement-durable.gouv.fr">cecile.reilhes@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:sabine.staal@developpement-durable.gouv.fr">sabine.staal@developpement-durable.gouv.fr</a>
<b>Guyane</b>	Myriam DEBRIS Gregory LECOMPTE Sébastien LINARES Stéphanie REY	<a href="mailto:myriam.debris@developpement-durable.gouv.fr">myriam.debris@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:gregory.lecompte@developpement-durable.gouv.fr">gregory.lecompte@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:sebastien.linares@developpement-durable.gouv.fr">sebastien.linares@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:stephanie.rey@developpement-durable.gouv.fr">stephanie.rey@developpement-durable.gouv.fr</a>
<b>Mayotte</b>	Anil AKBARALY <sup>Abs</sup>	<a href="mailto:anil.akbaraly@developpement-durable.gouv.fr">anil.akbaraly@developpement-durable.gouv.fr</a>

<sup>Abs</sup> : n'occupe plus le même poste ou n'est plus dans le même organisme

**Consultants techniques pour les aspects hydromorphologiques  
en lien avec les autres projets ultramarins (notamment Carhyce)**

<b>UMR CNRS-Université de Paris, Panthéon-Sorbonne / CNRS Laboratoire de Géographie Physique</b>	
Frédéric GOB Vincent TAMISIER	<a href="mailto:frederic.gob@univ-paris1.fr">frederic.gob@univ-paris1.fr</a> <a href="mailto:vincent.tamasier@lqp.cnrs.fr">vincent.tamasier@lqp.cnrs.fr</a>

**Coordinateur global et responsables de la validation technique générale**

<b>Agence Française pour la Biodiversité (Ex Office national de l'eau et des milieux aquatiques)</b>	Karl KREUTZENBERGER <sup>*12</sup>	<a href="mailto:karl.kreutzenberger@afbiodiversite.fr">karl.kreutzenberger@afbiodiversite.fr</a>
	Gabriel MELUN <sup>*2</sup>	<a href="mailto:gabriel.melun@afbiodiversite.fr">gabriel.melun@afbiodiversite.fr</a>

<sup>\*1</sup> Coordinateur technique global

<sup>\*2</sup> Validation technique générale

**Via marché de prestation externe : réalisation technique**

<b>Asconit Consultants</b>	Virginie GIRARD <sup>*3</sup> Rémy MARTIN <sup>*3</sup> Pascal PLUVINET <sup>*3</sup>	<a href="mailto:virginie.girard@asconit.com">virginie.girard@asconit.com</a> <a href="mailto:remy.martin@asconit.com">remy.martin@asconit.com</a> <a href="mailto:pascal.pluvinet@asconit.com">pascal.pluvinet@asconit.com</a>
<b>Dynamique Hydro</b>	Loïc GROSPRETRE <sup>*3</sup>	<a href="mailto:lgrospretre@dynamiquehydro.fr">lgrospretre@dynamiquehydro.fr</a>
<b>Laboratoire Hydreco (Guyane)</b>	Lydie RIERA <sup>*3</sup> Regis VIGOUROUX <sup>*3</sup>	<a href="mailto:lydie.riera@hydrecolab.com">lydie.riera@hydrecolab.com</a> <a href="mailto:regis.vigouroux@hydrecolab.com">regis.vigouroux@hydrecolab.com</a>

<sup>\*3</sup> Réalisation et validation technique générale appuyée d'une expertise locale

**Responsable de la solidarité interbassins**

<b>Agence Française pour la Biodiversité (Ex Office national de l'eau et des milieux aquatiques)</b>	Bernard LE GUENNEC	<a href="mailto:bernard.le-guennecc@afbiodiversite.fr">bernard.le-guennecc@afbiodiversite.fr</a>
--	--------------------	--

# RAPPORT TECHNIQUE

Version Juillet 2014

## Mise en œuvre du Référentiel hydromorphologique ultra-marin (RHUM)

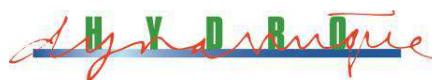
### Adaptation du système relationnel d'audit hydromorphologique (SYRAH) dans les DOM

*GUIDE D'UTILISATION DES OUTILS DE CALCUL*



**MANDATAIRE**

Rémy MARTIN  
remy.martin@asconit.com



**SOUS-TRAITANT**

Loïc GROSPRETRE  
lgrospretre@dynamiquehydro.fr

Parc scientifique Tony Garnier  
6-8 espace Henry Vallée  
69366 LYON cedex 07  
Tel : 04.78.93.68.90

18 av. Charles de Gaulle  
69370 ST DIDIER AU MONT D'OR  
Tel : 04 78 83 68 89

## SOMMAIRE

<b>1. SPECIFICATIONS TECHNIQUES .....</b>	<b>6</b>
<b>2. CALCULS DES INDICATEURS ET DESCRIPTEURS .....</b>	<b>8</b>
2.1. INSTALLATION DE LA BASE POSTGIS .....	8
2.2. CREATION DE LA CONSOLE D'EXECUTION .....	9
2.3. ARCHITECTURE DES REPERTOIRES.....	9
2.4. IMPORT DES USRA ET COUCHES SIG.....	10
2.5. CALCULS DES INDICATEURS ET DESCRIPTEURS.....	11
<b>3. CALCULS DES RISQUES D'ALTERATIONS (MODELE BAYESIEN) .....</b>	<b>14</b>
3.1. OBJECTIFS ET PRINCIPES.....	14
3.2. MISE EN CONTEXTE AVEC L'ETUDE RHUM .....	15
3.3. ARCHITECTURE DE L'OUTIL BAYESIEN .....	16
3.4. LANCEMENT DES CALCULS BAYESIENS.....	21
3.4.1. <i>Calculs des risques d'altération à l'USRA.....</i>	<i>21</i>
3.4.2. <i>Quelques exemples de messages d'erreur.....</i>	<i>23</i>
3.4.3. <i>Agrégation des résultats aux échelons supérieurs et calculs des éléments de qualité et de l'état hydromorphologique.....</i>	<i>24</i>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Capture d'écran de l'éditeur de configuration.....	8
Figure 2 : Capture d'écran de la commande d'exécution .....	9
Figure 3 : Capture d'écran de l'architecture globale de dossiers .....	10
Figure 4 : Capture d'écran de l'architecture de dossiers dans le répertoire INPUT.....	10
Figure 5 : Exemple de l'arbre bayésien pour le paramètre de qualité « continuité latérale » .....	14
Figure 6 : Structuration générale des dossiers.....	16
Figure 7 : Structuration des dossiers bayésien du modèle Ile pour la Guadeloupe .....	17
Figure 5 : Structuration du dossier du paramètre « con_bio_m ».....	17
Figure 6 : Exemple d'une table descriptive d'un arbre (arbre.csv) .....	18
Figure 7 : Exemple d'une table d'un descripteur (br_infran.csv) .....	18
Figure 8 : Table des probabilités con_lat.csv .....	19
Figure 9 : Exemple de Graphe de la répartition des classes par élément de qualité et pour l'état global .....	25

# 1. SPECIFICATIONS TECHNIQUES

## OUTIL CALCUL DES DESCRIPTEURS

**POSTGRESQL 9.1.3** ou supérieur

**PostGIS 2.0** ou supérieur

Boostez la configuration de POSTGRESQL dans le fichier « *postgresql.conf* » dans le dossier *data* de *Postgresql* :

```
shared_buffers = 500MB
work_mem = 500MB
maintenance_work_mem = 250MB
checkpoint_segments = 6
effective_cache_size = 800MB
```

Espace Minimum Disque dur à prévoir (pour l'ensemble des DOM):

- Base PostGIS : 5Go
- Stockage des données d'entrée et sortie : 8 Go

## OUTIL CALCUL DES RISQUES D'ALTERATIONS

**R 2.15.1** ou supérieur

Librairies à installer :

*bnlearn*

*sqldf*

*foreign*

*stringr*

Espace Minimum Disque dur à prévoir: 750 Mo

**Ce rapport s'adresse à des géomaticiens ayant des compétences SIG avec PostGIS-PostgreSQL et des personnes ayant des notions de R.**

L'objectif est de donner aux lecteurs la possibilité :

- de recalculer les indicateurs et descripteurs à l'échelle des USRA (chapitre 1)
- de renouveler les calculs de risque d'altération à l'échelle des USRA et l'agrégation des notes de risque à l'échelle des tronçons hydromorphologiques, des cours d'eau et des masses d'eau (chapitre 2).

Dans le cadre de l'étude RHUM, il existe également un rapport méthodologique et ses annexes qui présentent l'ensemble de la réflexion méthodologique.

Dans le cadre du projet RHUM il y a différents scripts/outils :

- Scripts SQL permettant d'automatiser le calcul des indicateurs et des descripteurs par unité d'analyse (phase 2 du projet RHUM). Ces scripts exécutent sur PostgreSQL/PostGIS.
- Script R permettant de calculer les risques d'altérations (phase 3 du projet RHUM) par unité d'analyse et de synthétiser les résultats à différentes échelles (tronçons hydromorphologiques, cours d'eau, masses d'eau). Les résultats par paramètre de qualité sont également synthétisés par paramètre de qualité, eux-mêmes synthétisés au sein de l'état hydromorphologique.

Avant d'exécuter l'outil bayésien, il est nécessaire d'avoir exécuté les scripts relatifs à la 2eme phase du projet, notamment si les données brutes permettant les calculs des indicateurs ont été mis à jour.

Les auteurs de cette partie technique sont :

- Rémy MARTIN, chef de projet, géomaticien (ASCONIT consultants)
- Pascal PLUVINET, géomaticien (ASCONIT consultants)
- Virginie GIRARD, docteur en hydrobiologie (ASCONIT consultants)
- Loïc GROPRESTRE, docteur en hydromorphologie (Dynamique Hydro)

## 2. Calculs des indicateurs et descripteurs

L'ensemble des calculs se font dans une base PostGIS. PostGIS est une extension de PostgreSQL (logiciel de bases de données Open Source) permettant, notamment de croiser des informations spatiales.

### 2.1. Installation de la base PostGIS

#### Versions à installer :

PostgreSQL 9.1 ou supérieure (9.1.3 testée)

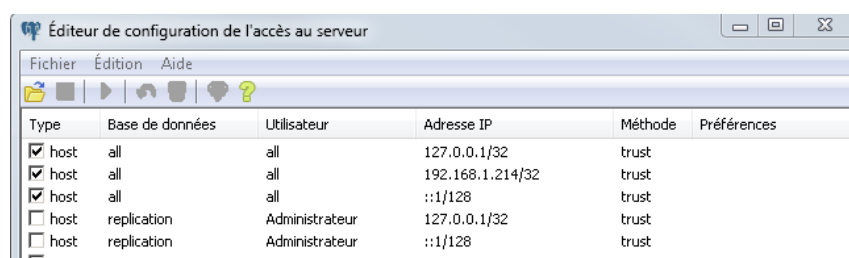
PostGIS 2.0 ou supérieure (2.0 testée)

S'il s'agit d'une première installation :

Laisser « postgres » comme user par défaut

A moins de souhaiter une sécurité optimale de vos données, choisissez le mode TRUST dans les configurations de l'accès au serveur : (PG\_ADMIN/fichier/pg\_hba.conf). Cela évite de saisir à chaque fois les mots de passe.

**Figure 1 : Capture d'écran de l'éditeur de configuration**



A l'aide de Pg Admin :

Créer une base de données : (Nom : « rhum », encodage WIN1252 ou UTF8).

La base de données doit intégrer les fonctions spatiales et la table « spatial\_ref\_sys ». Pour cela, au moment de la création, choisir un modèle vide (ex postgis20\_sample) et vérifier que la table « spatial\_ref\_sys » existe dans le schéma « public ».

Créer **5 schémas** (correspondant aux 5 départements) : ode971, ode972, ode973, ode974, ode976, soit à partir de PgAdmin , soit en ligne de commande (Ex : `CREATE SCHEMA ode971 ;`)



## 2.2. Création de la console d'exécution

Pour faciliter l'utilisation de postgres/postgis, il peut être intéressant de créer une console où l'utilisateur viendra copier/coller les commandes SQL. Cette console permet d'exécuter l'ensemble des scripts via un copier/coller global, plutôt que d'exécuter un à un les scripts via PgAdmin.

Pour cela, créer un fichier texte et nommer-le « PG\_RHUM.bat ».

Copier les lignes suivantes :

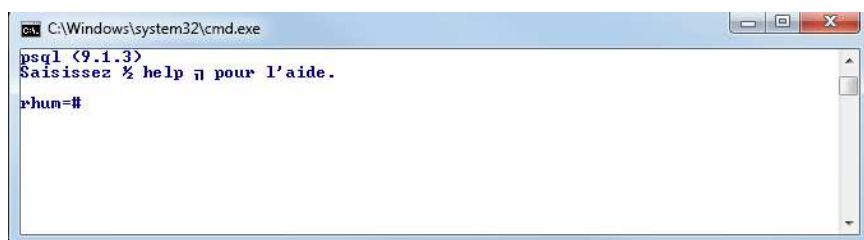
1	@echo off
2	
3	color F1
4	
5	cd C:\postgres\bin
6	psql -p 5432 -h localhost -U postgres rhum
7	
8	@echo on
9	@cmd
10	pause

Ligne 5 : Mettre le chemin du dossier « bin » de PostgreSQL.

Ligne 6 : remplacer « postgres » par le bon utilisateur

En double-cliquant sur le fichier « PG\_RHUM.bat », une console doit apparaître (cf. figure 2).

**Figure 2 : Capture d'écran de la commande d'exécution**

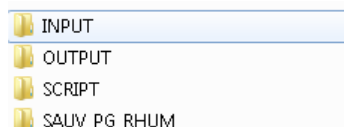


## 2.3. Architecture des Répertoires

Il existe une architecture par département d'outre-mer. Elles sont toutes construites de la même façon, mais spécifiques à chaque territoire car il y a des différences entre les données d'entrée et les scripts.

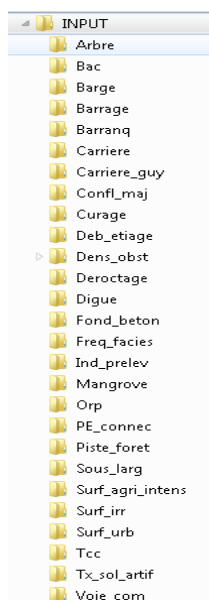
L'outil se compose de 4 dossiers : INPUT, OUTPUT, SCRIPT, SAUV\_PG\_RHUM :

**Figure 3 : Capture d'écran de l'architecture globale de dossiers**



Le dossier **INPUT** contient les données permettant le calcul des indicateurs/descripteurs. Le nom des dossiers est à respecter. L'annexe listant les descripteurs reporte les chemins utilisés pour chaque fichier de données.

**Figure 4 : Capture d'écran de l'architecture de dossiers dans le répertoire INPUT**



Le dossier **OUTPUT** contient les données exportées à l'issue du calcul des indicateurs. Ces données seront ensuite utilisées dans la phase suivante de qualification des risques d'altération.

Le dossier **SCRIPT** contient le script utilisé pour le calcul des indicateurs/descripteurs.

Le dossier **SAUV\_PG\_RHUM** contient l'archive à importer à la première utilisation. L'archive contient notamment les données sur les USRA ainsi que les couches utilisées pendant la prestation.






## 2.4. Import des USRA et couches SIG

En fin d'étude, un export des couches utilisées et/ou créées pendant la prestation a été réalisé au format SQL vers le dossier SAUV\_PG\_RHUM. Pour importer ces couches dans la base PostGIS, copier/coller la commande suivante dans la console :

```
\! psql -U postgres -f "CHEMIN\SAUV_PG_RHUM\RHUM_971_PGDATA.sql" rhum
```

**Nota** : Pensez à modifier le chemin en fonction du DOM.

A ce jour, les couches au format SQL varient entre 420 MO et 1800 Mo selon le DOM :

 RHUM_971_PGDATA.sql	15/07/2014 15:33	Fichier SQL	582 400 Ko
 RHUM_972_PGDATA.sql	15/07/2014 15:46	Fichier SQL	790 473 Ko
 RHUM_973_PGDATA.sql	15/07/2014 15:49	Fichier SQL	1 788 223 Ko
 RHUM_974_PGDATA.sql	15/07/2014 15:44	Fichier SQL	858 984 Ko
 RHUM_976_PGDATA.sql	15/07/2014 15:45	Fichier SQL	421 217 Ko

## 2.5. Calculs des indicateurs et descripteurs

### Nom des scripts

Les scripts permettant de lancer les calculs sont nommés « indicateur\_.sql ». Ils ont été différenciés par DOM pour prendre en compte les spécificités de chaque département (descripteurs différents, données existantes...). Chaque DOM possède ses propres scripts SQL.

### Editeur de texte

Pour lire les scripts, il est préférable d'utiliser un éditeur de texte tel que *Notepad++* pour mettre en couleur les commentaires et les mots clés, en choisissant le langage SQL dans les types de langages de développement de Notepad++.

### Format des données à croiser

L'objectif de ces scripts est de calculer des indicateurs qui reflètent un croisement entre les USRA et des données exogènes. Ces données doivent être au format *ESRI shapefile* et dans le système de projection spécifique à chaque DOM :

Départements	Système de projection (EPSG)
GUADELOUPE (971)	2989
MARTINIQUE (972)	2989
GUYANE (973)	2972
REUNION (974)	2975
MAYOTTE (976)	32738

### Import des données

Avant d'effectuer les croisements avec les USRA, il est nécessaire d'importer les données dans la base de données PostGIS.

Pour faciliter l'import, les données doivent respecter l'architecture des dossiers mis en place dans le répertoire INPUT.

La première partie du script est dédiée à l'import. L'import de chaque donnée se fait via la commande « *shp2pgsql* ».

```
\! shp2pgsql -W LATIN1 -s 2975 -dI "CHEMIN\deb_etiage.shp" ode974.deb_etiage | psql -U postgres rhum
```

**Nota :** Pensez à changer le chemin absolu qui pointe vers les fichiers *shp* (et le nom de l'utilisateur si différent : -U user).

Un simple copier/coller de la commande dans la console d'exécution permet d'importer les données. Si une donnée existe déjà dans la base de données PostGIS, celle-ci sera écrasée et remplacée.

Pour s'assurer que la donnée a été bien importée, la commande doit renvoyer le mot « COMMIT » en fin d'import comme dans l'exemple suivant :

```
rhum=# \! shp2pgsql -W LATIN1 -s 2975 -dDI "P:\CHEMIN\PHASE2\INPUT\Deb_etiage\deb_etiage.shp" ode974.deb_etiage |
psql -U postgres rhum
Shapefile type: Polygon
Postgis type: MULTIPOLYGON[2]
SET
SET
          dropgeometrycolumn
-----
ode974.deb_etiage.geom effectively removed.
(1 ligne)

DROP TABLE
BEGIN
NOTICE: CREATE TABLE créera des séquences implicites À« deb_etiage_gid_seq À»
pour la colonne serial À« deb_etiage.gid À»
CREATE TABLE
NOTICE: ALTER TABLE / ADD PRIMARY KEY créera un index implicite À« deb_etiage_
pkey À» pour la table À« deb_etiage À»
ALTER TABLE
          addgeometrycolumn
-----
ode974.deb_etiage.geom SRID:2975 TYPE:MULTIPOLYGON DIMS:2
(1 ligne)

CREATE INDEX
COMMIT
rhum=#
```

**Nota :** Lorsque la donnée n'est pas disponible pour un DOM, la ligne de commande d'import a été mise en commentaire (deux tirets mis devant la commande). Ultérieurement, il sera nécessaire de décommenter cette ligne et de définir le bon chemin d'accès au shp pour permettre l'import.

### Calculs des indicateurs

Une fois les données importées, on peut alors lancer les calculs d'indicateurs et la mise en classe des descripteurs.

Les scripts se trouvent dans le dossier « SCRIPT ».

Pour les exécuter, il faut sélectionner le bloc de commande correspondant au descripteur à calculer et faire un copier/coller dans la console d'exécution.

**Nota :** Il est possible de lancer l'ensemble des scripts SQL du calcul des indicateurs, via un imposant copier/coller. Le temps de traitement est très long et variable selon les DOM.

Pour différencier les indicateurs et les descripteurs, le nom des indicateurs est précédé du préfixe « i ».

Exemple d'un nom de l'indicateur : d\_ob

Exemple d'un nom de descripteur correspondant i\_d\_ob

Lorsque la donnée est manquante dans un DOM ou que le DOM n'est pas concerné par un descripteur, le bloc de commandes d'import a été mise en commentaire avec les balises « \\* » placée en début de bloc et « \*/ » en fin de bloc.

Si la donnée devient disponible, il sera nécessaire de décommenter ce bloc de script pour permettre l'exécution du calcul du descripteur.

### Export des USRA en shapefile

La dernière partie du script est consacrée à l'export des USRA et des descripteurs/indicateurs. Le dossier de destination est le dossier OUTPUT.

Une première requête permet de sélectionner les colonnes à garder pour le fichier final des USRA :

```
drop table ode974.usra_indic;
create table ode974.usra_indic as
select distinct
id_usra,
id_usranum,
id_th,
...
```

Puis une commande « *pgsql2shp* » permet d'exporter la table PostGIS en Esri Shapefile (format compatible avec la plupart des logiciels SIG)

```
\! pgsql2shp -g geom -p 5432 -h localhost -u postgres -f "P:\CHEMIN\REUNION\TECHNIQUE\PHASE2\OUTPUT\usra_indic.shp" -
P adminadmin rhum ode974.usra_indic
```

**Nota :** Pensez à spécifier le chemin absolu du fichier d'export et l'utilisateur (ici *postgres*).  
Egalement, on peut spécifier le mot de passe en dur (ici *adminadmin*).

# 3. Calculs des risques d'altérations (modèle bayésien)

## 3.1. Objectifs et principes

L'outil permet de calculer les risques d'altération à l'échelle d'une entité spatiale à partir d'un modèle réseau de probabilités bayésien (Bayesian Belief Network) et des différentes caractéristiques (appelées « descripteurs ») expliquant le paramètre étudié.

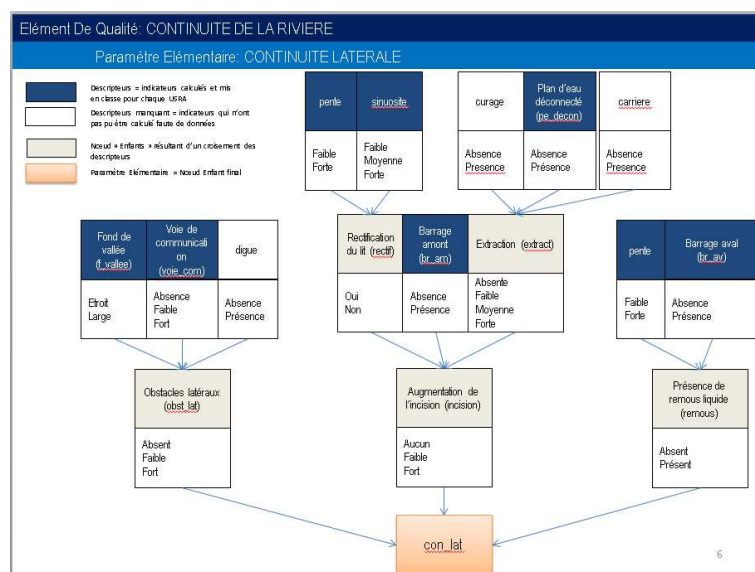
Dans un réseau bayésien, on dessine des arbres dont on distingue trois principaux éléments :

- Des nœuds **parents** qui représentent les descripteurs,
- Des nœuds **enfants** qui sont le résultat de l'association d'un ou plusieurs parents,
- Des **flèches** qui décrivent les relations causales entre les nœuds. Derrière chaque flèche, on décrit le lien de causalité par une distribution de probabilités conditionnelles. Ainsi, à chaque nœud enfants est associée une table de probabilité qui décrit les probabilités du nœud enfant pour chaque combinaison de valeurs possibles pour les nœuds parents.

Le nœud enfant final représente le paramètre élémentaire pour lequel on souhaite calculer les risques d'altération. Dans certains cas, il peut y avoir plusieurs nœuds enfants intermédiaires.

Par exemple (Figure ci-après), « pente » est un descripteur, « rectif » est un nœud enfant intermédiaire du couple parent « pente » et « sinuosité ».

**Figure 5 : Exemple de l'arbre bayésien pour le paramètre de qualité « continuité latérale »**



## 3.2. Mise en contexte avec l'étude RHUM

---

Le réseau hydrographique de chaque Département d'Outre-Mer a été sectionné en tronçons hydromorphologiques homogènes (phase 1 du projet RHUM). Les tronçons ont été découpés de manière automatique en USRA (Unité spatiale de Recueil et d'analyse) afin de mieux localiser les risques d'altération. La longueur des USRA dépend généralement du rang de strahler et des HER.

A chaque USRA, des indicateurs sont calculés (phase 2 du projet RHUM). Ils sont le résultat de croisements géographiques avec des données du territoire (obstacles, prélèvements, barrages...). Les indicateurs sont calculés au sein d'une zone tampon (Buffer) correspondant généralement soit au lit mineur (b3w), soit au lit majeur (b12w)... Cette emprise d'analyse est définie selon l'influence de l'indicateur sur le cours d'eau.

**Nota :** pour plus d'information sur le découpage des tronçons, les descripteurs et les emprises d'analyse, il est nécessaire de consulter le rapport méthodologique.

Ensuite, chaque indicateur est classifié (Exemple : Faible/Moyen/Fort) soit sur la base des connaissances d'experts soit selon une méthode de classification automatique (ex. méthode de jens).

A l'issue de la phase 2, un fichier représentant les USRA est créé au format « ESRI Shapefile » et la table d'attribut contient les descripteurs.

L'outil développé spécifiquement pour l'étude RHUM permet de caractériser les USRA selon neuf paramètres de qualité (dix en Guyane) en fonction des descripteurs.

Ces paramètres sont synthétisés en trois éléments de qualité et en un état hydromorphologique global.

De plus, l'outil permet d'agréger les résultats aux échelons supérieurs : tronçons hydromorphologiques, cours d'eau et masses d'eau cours d'eau.

### 3.3. Architecture de l'outil bayésien

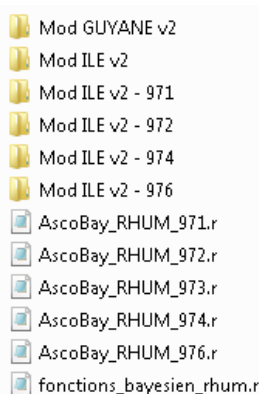
L'outil a été développé sous R (2.15, logiciel OpenSource et gratuit) et nécessite en particulier le package « *bnlearn* » pour les calculs bayésiens.

Le dossier « `_CALCULS_BAYESIENS` » contient les dossiers et scripts nécessaires à l'utilisation de l'outil.

Ce dossier contient un répertoire par modèle (île & Guyane), sachant que les modèles sont déclinés par DOM. Il contient également un script par DOM (`AscoBay_RHUM_dom.r`) et un fichier contenant des fonctions créées spécifiquement. Ce script sera appelé lors du lancement des calculs.

Le fichier « `AscoBay_RHUM_XXX.r` » est à paramétrer avant le lancement des calculs.

**Figure 6 : Structuration générale des dossiers**



Dans le cadre de RHUM, tous les paramètres du bayésien ont été définis.

**Nota :** L'utilisateur peut changer les modèles, i.e. définir (1) les nœuds, (2) les relations entre chaque nœud et (3) les probabilités conditionnelles associées.

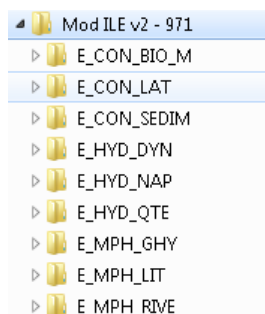
Il faut créer plusieurs fichiers CSV qu'il faut placer dans une architecture rigoureuse de dossiers.

On construit un dossier par paramètre élémentaire nommé « `E_xxxxxx` ». Les modèles de chaque paramètre élémentaire sont regroupés dans un même dossier.

Le dossier « `Mod ILE v2- 971` » contient 9 paramètres élémentaires à calculer pour la Guadeloupe.

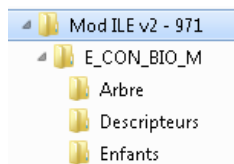


**Figure 7 : Structuration des dossiers bayésien du modèle Ile pour la Guadeloupe**



Chaque dossier de paramètre élémentaire contient trois sous-dossiers : « Arbre », « Descripteurs », « Enfants ».

**Figure 8 : Structuration du dossier du paramètre « con\_bio\_m »**



### Dossier Arbre

Il contient un fichier **Arbre.csv**. Il décrit les nœuds et les relations.

Dans la colonne PARAMETRE sont listés les noms des variables. Pour les descripteurs, il est nécessaire de respecter les noms des attributs du shapefile et les mettre en minuscule.

Règle sur le choix des noms des variables : le nombre de caractères est limité à 9, les espaces sont interdits et doivent être éventuellement remplacés par « \_ »

Dans la colonne PARENTS, mettre « Descr » s'il s'agit d'un descripteur. Par définition un descripteur n'a pas de parents. Pour les nœuds enfants, indiquer les noms des nœuds parents séparés par deux points « : ».

Dans la dernière colonne PELEM, mettre une petite croix « x » pour indiquer qu'il s'agit d'un paramètre élémentaire (nœud enfant final).

Figure 9 : Exemple d'une table descriptive d'un arbre (arbre.csv)

	A	B	C
1	PARAMETRE	PARENTS	PELEM
2	f_vallee	Descr	
3	voie_com	Descr	
4	digue	Descr	
5	pente	Descr	
6	sinuosite	Descr	
7	br_am	Descr	
8	br_av	Descr	
9	curage	Descr	
10	pe_decon	Descr	
11	carriere	Descr	
12	rectif	pente:sinuosite	
13	extract	curage:pe_decon:carriere	
14	incision	rectif:extract:br_am	
15	remous	pente:br_av	
16	obst_lat	f_vallee:voie_com:digue	
17	con_lat	obst_lat:incision:remous	x

### Dossier Descripteurs

Le dossier contient autant de fichiers CSV que de descripteurs dans le modèle.

Chaque fichier CSV prend le nom du descripteur en minuscule.

Cela permet de décrire chaque modalité (= valeur) des descripteurs.

Figure 10 : Exemple d'une table d'un descripteur (br\_infran.csv)

	A	B	C
1	MODALITE	LABEL	PROB
2	1 abs		0.33333333
3	2 fb		0.33333333
4	3 ft		0.33333333

Dans la colonne **MODALITE**, on indiquera un identifiant numérique entier. Cet identifiant sera utilisé dans les tables de probabilités conditionnelles (cf dossier Enfant).

Dans la colonne **LABEL**, on indiquera le nom de la modalité telle qu'elle est écrite dans le shapefile des USRA. Ainsi dans l'exemple, le shapefile doit contenir une colonne « br\_infran » contenant les modalités « abs », « fb » et « ft ».

Dans la colonne **PROB**, on indique les probabilités (à dire d'expert) de rencontrer telle ou telle modalité sur le territoire. Cette information est nécessaire au cas où le descripteur n'est pas renseigné dans la table d'attribut des USRA. En effet, il se peut que le descripteur ne soit pas renseigné et que la colonne n'existe pas dans le shapefile. Cette colonne prend alors de l'importance. Par défaut, répartir les modalités de manière équitable (exemple 0.3333333 pour 3 modalités).

Par exemple, si la donnée sur les barrages n'existe pas et que l'on sait qu'il y a très peu de barrages infranchissables sur le territoire, on peut alors définir 0.80 pour la probabilité d'absence de barrage et 0.1 pour la probabilité d'avoir un barrage franchissable et 0.1 d'avoir un barrage infranchissable, si l'on part du principe qu'il y a autant de barrages franchissables et infranchissables.

Les nombres dans la colonne PROB doivent être compris entre 0 et 1 et la somme doit faire strictement 1. Pour s'assurer que la somme fait 1, faire une formule Excel du type : « =1/3 » pour afficher 0.333333 au lieu de 0.33.

## Dossier Enfants

Ce dossier contient les tables de probabilités conditionnelles des nœuds enfants.

Il y a autant de fichiers CSV que de nœuds enfants dans le modèle. Chaque fichier CSV prend le nom du nœud enfants en minuscule.

Les premières colonnes correspondent aux nœuds parents.

Puis les colonnes suivantes correspondent aux modalités du nœud enfant « X » (dans l'exemple suivant X1, X2, X3, X4, X5, correspondant respectivement à la probabilité d'obtenir une classe d'état de l'enfant « Très Bon » ou « Bon » ou « Moyen » ou « Médiocre » ou « Mauvais »).

La dernière colonne (obligatoire) se nomme « SOMME » et doit être égale à 1. Elle permet de vérifier lors du remplissage des tables que la somme des probabilités est bien égale à 1.

Dans l'exemple suivant, si obs\_lat = 1, incision = 1 et remous = 2 alors on aura 75% de chance que con\_lat = 1 (très bon) et 25% de chance que con\_lat = 2 (bon) (cf. ligne 3, Table ci-dessous).

**Figure 11 : Table des probabilités con\_lat.csv**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	obs_lat	incision	remous	con_lat1	con_lat2	con_lat3	con_lat4	con_lat5	SOMME
2	1	1	1	1	0	0	0	0	1
3	1	1	2	0.75	0.25	0	0	0	1
4	1	2	1	0.25	0.5	0.25	0	0	1
5	1	2	2	0	0.75	0.25	0	0	1
6	1	3	1	0	0.25	0.5	0.25	0	1
7	1	3	2	0	0	0.75	0.25	0	1
8	2	1	1	0	0.5	0.5	0	0	1
9	2	1	2	0	0.25	0.5	0.25	0	1
10	2	2	1	0	0	0.75	0.25	0	1
11	2	2	2	0	0	0.5	0.5	0	1
12	2	3	1	0	0	0.25	0.5	0.25	1
13	2	3	2	0	0	0	0.75	0.25	1
14	3	1	1	0	0	0.5	0.5	0	1
15	3	1	2	0	0	0.25	0.5	0.25	1
16	3	2	1	0	0	0.25	0.75	0	1
17	3	2	2	0	0	0	0.75	0.25	1
18	3	3	1	0	0	0	0.5	0.5	1
19	3	3	2	0	0	0	0	1	1
20									

### **Remarques importantes concernant la mise en forme des dossiers et fichiers :**

- Il faut scrupuleusement respecter les noms des descripteurs et enfants. Mettre des noms courts (moins de 9 caractères), sans espace, en minuscule.
- Les fichiers doivent être au format CSV avec séparateurs point-virgule « ; ». Possibilité d'enregistrer un fichier Excel directement en csv.
- Vérifier bien que les sommes des probabilités pour chacune des combinaisons (en ligne) font 1.
- Pour enregistrer correctement un fichier CSV sous Excel, cliquer sur la cellule A1, puis faire CTRL+A (sélectionner uniquement les cellules remplies, puis CTRL+S (enregistrer).
- Toutes les modalités doivent être décrites.
- Si une cellule est vide, le calcul risque de renvoyer une erreur. Par conséquent, lorsque la probabilité est nulle, alors mettre « 0 ».

## 3.4. LANCEMENT DES CALCULS BAYESIENS

### 3.4.1. Calculs des risques d'altération à l'USRA

Les calculs se font dans l'environnement R<sup>1</sup>. Avant de commencer les calculs, vérifiez que les librairies *sqldf*, *foreign*, *bnlearn* et *stringr* sont correctement installées.

Pour effectuer les calculs, utiliser la console R et faire des copier/coller des commandes.

1. Avant le lancement du script `AscoBay_RHUM_dom.r`, ouvrir le script avec Notepad++ **et changer les chemins** :

```
#####  
##### PARAMETRES #####  
#####  
  
#####CHEMIN DANS LEQUEL SE TROUVENT LES USRA usra_indic.dbf (Format SHAPEFILE)  
ch_usra<- "D:/DEMO_RHUM/Phase2_CALCULS_INDICATEURS/GUADELOUPE/OUTPUT/"  
  
#####CHEMIN DU DOSSIER CONTENANT LES TABLES DU MODEL BAYESIEN (finir par "/E_")  
ch_bay<-"D:/DEMO_RHUM/Phase3_CALCULS_BAYESIENS/_CALCULS_BAYESIENS/Mod ILE v2 - 971/E_"  
  
##### CHEMIN DE LA TABLE DE CORRESPONDANCE DES TH ET ME  
CH_TH_ME<-"D:/DEMO_RHUM/Phase1_sectorisation_TH/GUADELOUPE/CORRESPONDANCE TH_ME/TH_ME.dbf"  
  
#####CHEMIN VERS LEQUEL SERA EXPORTER LES RESULTATS  
ch_output<-"D:/DEMO_RHUM/Phase3_CALCULS_BAYESIENS/OUTPUT_971/"
```

Pour « `ch_usra` » et « `ch_output` », ne pas oublier « `/` » à la fin

Pour « `ch_bay` », ne pas oublier « `/E_` » à la fin

`ch_usra` devrait se trouver dans `Phase2_CALCULS_INDICATEURS/DOM/OUTPUT/`

`ch_bay` devrait se trouver dans `Phase3_CALCULS_BAYESIENS\_CALCULS_BAYESIENS`

`CH_TH_ME` devrait se trouver dans `Phase1_sectorisation_TH\GUADELOUPE\CORRESPONDANCE TH_ME`

2. Chemin des entités spatiales

Indiquer le nom du fichier shapefile. Pour une optimisation des traitements, le script n'importe que la table d'attribut (fichier DBF). Indiquer également le champ des identifiants USRA : ici « `id_usranum` »

```
ch_usra<-paste(ch_usra,"usra_indic.dbf",sep="")  
id_usra<-"id_usranum"
```

3. Mettre le chemin vers les fonctions développées pour les calculs :  
`fonction_bayesien_rhum.r`

<sup>1</sup> <http://www.r-project.org/>

```
### On charge les fonctions
source("P:/E3212_ODE972_rhum/D4/TESTS/Bayesian_R/fonctions_bayesien_rhum.r")
```

4. Indiquer le nom des paramètres élémentaires tels qu'ils sont mentionnés dans le nom des dossiers (respecter la casse)

```
### NOM du dossier
vectparam<-c("HYD_QTE", "HYD_DYN", "HYD_NAP", "CON_LAT", "CON_BIO_M", "CON_BIO_P", "CON_SEDIM", "MPH_GHY", "MPH_LIT", "MPH_RIVE")
```

5. Indiquer la liste des descripteurs manquants. Le calcul prendra alors les probabilités dans le fichier CSV du descripteur.

```
### liste des descripteurs (présents dans les arbres) qui ne
DESCR_MANQUANT<-c("f_beton", "curage", "carriere", "digue")
```

S'il n'y a aucun descripteur manquant, mettre la ligne ci-dessous

```
DESCR_MANQUANT<-as.character()
```

#### 6. Lancer le script jusqu'à « AGREGATION AUX TRONCONS ».

Le calcul procède paramètre élémentaire par paramètre élémentaire.

Il faut compter entre 1h30 et 4h de calcul selon les DOM. Cette durée n'est pas liée au nombre d'USRA mais à l'hétérogénéité des USRA. Si tous les USRA avaient les mêmes caractéristiques, le calcul serait en effet très rapide.

Le fichier résultat est nommé « usra\_rst.dbf » à destination du répertoire indiqué dans les paramètres au début du script AscoBay\_RHUM\_dom.r

Le script a permis de rajouter un certain nombre de nouvelle colonne à la table des USRA. Ainsi, pour chaque paramètre élémentaire, on obtient une colonne pour chaque classe de risque. A ces cinq colonnes s'ajoute une colonne de synthèse.

Par exemple pour le paramètre de continuité biologie et migration (CON\_BIO\_M), on obtient 6 colonnes :

- CON\_BIO\_M1 : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : probabilité d'être dans la classe "très faible"
- CON\_BIO\_M2 : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : probabilité d'être dans la classe "faible"
- CON\_BIO\_M3 : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : probabilité d'être dans la classe "moyen"
- CON\_BIO\_M4 : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : probabilité d'être dans la classe "fort"
- CON\_BIO\_M5 : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : probabilité d'être dans la classe "très fort"
- CON\_BIO\_M : classe altération CONTINUE BIOLOGIQUE - MIGRATION : SYNTHESE (classe ayant la plus forte probabilité)

De même, on obtient à la fin du traitement 4 colonnes synthétisant les paramètres élémentaires :

- HYDRO : Élément de Qualité hydromorphologique : HYDROLOGIE (3 classes)
- CONTINUE : Élément de Qualité hydromorphologique : CONTINUE (3 classes)
- MORPHO : Élément de Qualité hydromorphologique : MORPHOLOGIE (3 classes)
- SYNTHESE : Qualité hydromorphologique : SYNTHESE (2 classes)

Pour afficher les résultats dans un SIG, faire une jointure entre les shapefiles des USRA,TH,CE,ME et les fichiers DBF correspondants.

### 3.4.2. Quelques exemples de messages d'erreur

```
"[f_vallee][voie_com][digue][pente][sinuosite][br_am][curage][pe_decon][carriere][rectif|pente:sinuosite|extract|curage:pe_decon:carriere][incision|rectif:extract:br_am][remous|pente:br_av][obst_lat|f_vallee:voie_com:digue][con_lat|obst_lat:incision:remous]"
```

Erreur dans check.arcs(res\$arcs, nodes = nodes) :

node(s) br\_av not present in the graph.

- il manque « br\_av » dans « arbre.csv »

```
[1] "les modalités de l'enfant obst_lat sont : "
```

```
[1] "f_vallee" "1" "2" "3"
```

```
[1] "!!!!!! obst_lat a un probleme, la somme dne fait pas 1, vérifier la somme et Réenregistrer le csv de l'Enfant en faisant un ctrlA puis CtrlS"
```

Erreur dans dim(cpt) <- DIM :

dims [produit 24] ne correspond pas à la longueur de l'objet [48]

- Dans « arbre.csv », « f\_vallee » n'est pas considéré comme un parent de « obs\_lat ». Vérifier les liens entre les nœuds

```
[1] "les modalités de l'enfant extract sont : "
```

```
[1] "1" "2" "3" "4"
```

Erreur dans dim(cpt) <- DIM :

dims [produit 48] ne correspond pas à la longueur de l'objet [44]

- il manque une ligne ou plusieurs lignes dans le fichier CSV de tables de probabilités d'un nœud enfant. Ici, il manque une ligne dans « extract.csv ».

```
[1] "les modalités de carriere sont : "
```

```
[1] "1" "2" "4"
```

```
[1] "les modalités de curage sont : "
```

```
[1] "1" "2"
```

```
[1] "les modalités de pe_decon sont : "
```

```
[1] "1" "2" "3"
```

```
[1] "les modalités de l'enfant extract sont : "
```

```
[1] "1" "2" "3" "4"
```

Erreur dans dim(cpt) <- DIM :

dims [produit 72] ne correspond pas à la longueur de l'objet [48]

- Message quasi équivalent. Dans « extract.csv », « carriere » a une modalité non reconnue.

Erreur dans check.fit.dnode.spec(dist[[cpd]], node = cpd) :

some conditional probability distributions of node extract do not sum to one.

- Vérifier dans les tables des nœuds enfants s'il n'y a pas de colonnes en trop dû à la manière d'enregistrer les fichiers CSV. Pour un enregistrement parfait, cliquer sur la cellule A1. Puis Ctrl+A (sélectionner les cellules non vides) puis Ctrl+S.
- Vérifier que les sommes des probabilités sont bien égales à 1. Si on remonte l'ensemble des commentaires affichées pendant le calcul, on peut parfois lire :  
"!!!!!! extract a un probleme, la somme dne fait pas 1, vérifier la somme et Réenregistrer le csv de l'Enfant en faisant un ctrlA puis CtrlS"  
Cela veut dire que le problème vient de la table extract.

Erreur dans check.dnode.vs.spec(dist[[cpd]], old = fitted[[cpd]]\$parents, :  
wrong levels for node incision.

- Vérifier pour que les modalités des parents de l'enfant « incision » se retrouvent bien dans les modalités de la table de probabilité de l'enfant. Par exemple, « incision » a un parent « br\_am ». Dans la table « incision.csv » « br\_am » a deux modalités (1 et 2) et dans la table « br\_am.csv » on trouve les modalités 1 et 3. Il faut donc retravailler la cohérence.

Erreur dans if (sum(cptok)/nrow(TAB) != 1) { :

- Il y a des cellules vides dans les tables enfants

### 3.4.3. Agrégation des résultats aux échelons supérieurs et calculs des éléments de qualité et de l'état hydromorphologique.

La suite du script permet de lancer les agrégations aux tronçons hydromorphologiques (TH), cours d'eau (CE BD CARTHAGE) et Masses d'eau (ME).

Les fichiers résultats sont :

- TH\_rst.dbf
- CE\_rst.dbf
- ME\_rst.dbf

De plus, pour chaque niveau d'échelle, le script calcule des notes synthétisant plusieurs éléments de qualité (HYDRO, CONTINUE, MORPHO). L'outil exporte des histogrammes pour analyser la proportion d'objets dans chaque classe de risque (faible, moyen, fort). Les graphes sont exportés au format JPG dans le répertoire (ch\_output) indiqué dans les paramètres au début du script AscoBay\_RHUM\_dom.r :

- distrib\_class.jpg (pour les USRA)
- distrib\_class\_TH.jpg
- distrib\_class\_CE.jpg
- distrib\_class\_ME.jpg



Figure 12 : Exemple de Graphe de la répartition des classes par élément de qualité et pour l'état global

