



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

GEODEP

L'OUTIL DE DIAGNOSTIC DES EXPORTATIONS DE PHOSPHORE SPATIALISÉ

Contenu et fonctionnement

Par

L'INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT inc. (IRDA)

Dans le cadre du programme :

**EPBH II : ÉVALUATION DES PRATIQUES DE GESTION BÉNÉFIQUES À L'ÉCHELLE DES BASSINS
HYDROGRAPHIQUES D'AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA**

Rivière Bras d'Henri et ruisseau Fourchette (Québec)

Juillet 2013



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).

Pour en savoir plus :

www.irda.qc.ca

Pour nous rejoindre :

IRDA

Québec

Centre de recherche et siège social

2700, rue Einstein

Québec (Québec)

G1P 3W8 CANADA

Tél. : 418 643-2380

Téléc. : 418 644-6855

Le rapport peut être cité comme suit :

Drouin, A., I. Beaudin, J. Desjardins, A.R. Michaud et N. Côté. 2013. GEODEP : L'outil de diagnostic des exportations de phosphore spatialisé – Contenu et fonctionnement. Réalisé dans le cadre du programme « Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographique II (EPBH II) – Rivière Bras d'Henri et ruisseau Fourchette », d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec, Canada.

Table des matières

1.	INTRODUCTION	5
2.	CONTENU	6
2.1.	Données en entrée du modèle GEODEP à fournir par l'utilisateur :	6
2.2.	Données en entrée fournies avec le modèle GEODEP	7
2.3.	Description des 6 modules de GEODEP	12
2.4.	Les résultats et fichiers de sorties de GEODEP	15
3.	MANUEL DE L'UTILISATEUR	21
	RÉFÉRENCES.....	35
	ANNEXE 1 : Étapes et équations des différents modules de GEODEP	36

Table des figures

Figure 1. L'accès à ArcCatalog via ArcMap.....	21
Figure 2. Identification des couches nécessaires au modèle.....	23
Figure 3. Fenêtre de finalisation de l'exécution du modèle	24
Figure 4. Ouverture de la table d'attributs	25
Figure 5. Ouverture d'une session de mise à jour (édition)	26
Figure 6. Édition d'une couche dans ArcGIS	27
Figure 7. Finalisation de l'édition d'un polygone dans ArcGIS	28
Figure 8. Enregistrement des modifications et fermeture de la session de mise à jour	29
Figure 9. Fenêtre du 2 ^e module de GEODEP : 2_URH.....	30
Figure 10. Fenêtre du 3 ^e module de GEODEP : 3_LS_deMUSLE.....	31
Figure 11. Fenêtre du 4 ^e module de GEODEP : 4_Hydrologie.....	31
Figure 12. Fenêtre du 5 ^e module de GEODEP : 5_Phosphore.....	32
Figure 13. Fenêtre du 6 ^e module de GEODEP : 6_Quantites	32
Figure 14. Exportation des tables d'ArcGIS à Excel	33
Figure 15. Choix du nom et du format d'exportation de la table	34

Table des tableaux

Tableau 1. Valeurs possibles pour le paramètre Avaloir.....	7
Tableau 2. Valeurs possibles pour le paramètre Bande_riveraine.....	8
Tableau 3. Valeurs possibles pour les paramètres Fum1_période, Fum2_période et Fum3_période	8
Tableau 4. Valeurs possibles pour les paramètres Fum1_délai, Fum2_délai et Fum3_délai.....	8
Tableau 5. Valeurs possibles pour le paramètre Trav_Sol	8
Tableau 6. Valeurs possibles pour les paramètres Couv_associée et Couv_dérobée	9
Tableau 7. Valeurs par défaut des paramètres liés à la régie des cultures.....	9
Tableau 8. Valeurs possibles pour le paramètre Drainage souterrain.....	10
Tableau 9. Valeurs possibles pour le paramètre drainage de surface	10
Tableau 10. Valeurs possibles pour le paramètre condition du profil cultural.....	10
Tableau 11. Champs de sorties de GEODEP	15

1. INTRODUCTION

GEODEP est un outil de localisation des sources critiques d'exportations de sédiments et nutriments (Critical source areas - CSAs) et de quantification des ces exportations. Il a été réalisé dans le cadre du projet WEBS II et a été développé pour les bassins de la Fourchette et du Bras d'Henri au Québec. Il est divisé en deux sections : la première section correspond à l'analyse hydrologique des bassins à l'étude tandis que la seconde section concerne l'indexation du ruissellement, de l'érosion et des exportations de nutriments. La section sur l'analyse hydrologique a été développée à partir de données issues de la télédétection, soit des données d'élévation LiDAR et des images satellitaires multispectrales. L'utilisation de ces données géospatiales permet de localiser les zones plus actives hydrologiquement à l'intérieur des bassins versants à l'étude, mais également à l'échelle des fermes. Les données géospatiales créées dans cette section de GEODEP incluent :

Une analyse hydrologique de surface des modèles numériques de terrain LiDAR comprenant les parcours de l'eau continues à l'intérieur des champs (crées suite à l'élimination des obstacles à l'écoulement de l'eau tels que les ponts et ponceaux), la délimitation des sous-bassins et micro-bassins, ainsi que l'identification des dépressions.

Une classification d'images satellitaires multispectrales (images Landsat 5, Spot IV, QuickBird et Ikonos acquises de 2008 à 2010) en indices permettant l'identification des patrons spatiaux de drainage (indices de brillance des sols et de végétation - NDVI).

Une classification hydropédologique des paysages réalisée à partir du logiciel LandMapR et d'un modèle numérique de terrain à une résolution de 20 mètres permettant de segmenter le territoire en fonction de sa position relative dans le paysage.

La seconde section de l'outil GEODEP consiste en une version spatialisée de l'ODEP (Outil de diagnostic des exportations de phosphore). Le modèle GEODEP permet à l'aide de données géospatiales (ex : données d'élévation) et de données sur la gestion des fermes et des cultures de produire des prédictions de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore par champ ou par parcelle. Les équations contenues dans le modèle GEODEP sont basées sur celles développées dans le cadre du projet ODEP, toutefois l'outil GEODEP est directement intégré à un Système d'Information Géographique (SIG) puisqu'il a été créé à l'aide de Model Builder d'ArcGIS 10.1. En plus, des prédictions d'exportations de sédiments et nutriments en fonction des conditions actuelles d'utilisation et de gestion du territoire, il est également possible de simuler des combinaisons de pratiques de gestion bénéfiques (PGB) et d'en évaluer les effets sur le ruissellement, l'écoulement aux drains et les exportations de sédiments et nutriments. Bien que le modèle GEODEP ait été pour l'instant appliqué uniquement aux bassins versants du ruisseau Fourchette et de la rivière Bras d'Henri, il a été créé de façon à être utilisable partout au Québec et même au Canada dans les secteurs où

les modes de gestion de l'agriculture sont semblables à ceux du Québec. Les prochaines pages du présent document décrivent le fonctionnement du modèle GEODEP.

D'abord mentionnons que GEODEP est un modèle Model Builder d'Esri, il ne peut donc être utilisé qu'à l'intérieur du logiciel ArcGIS produit par cette compagnie. Notons toutefois que ce logiciel est le plus répandu et le plus utilisé de l'industrie des Systèmes d'Information Géographique (SIG); et que bon nombres de clubs conseils, et ministères provinciaux et fédéraux l'utilisent. Le modèle GEODEP pour être applicable ailleurs que dans les bassins Fourchette et Bras d'Henri nécessitent d'être fourni en données propres à la zone d'étude. Ces données sont toutefois assez courantes dans le domaine de l'agriculture au Québec. De plus, certaines données et bases de données sont également présentes à l'intérieur d'une géodatabase accompagnant GEODEP. Ces données sont nécessaires au calcul de plusieurs paramètres du modèle.

2. CONTENU

2.1. Données en entrée du modèle GEODEP à fournir par l'utilisateur :

Vecteurs de polygones :

- ✓ Banque de données des cultures assurées (BDCA) ou des cultures généralisées (BDCG) de l'année en cours (Source : La Financière agricole du Québec);
- ✓ Banque de données des cultures assurées (BDCA) ou des cultures généralisées (BDCG) de l'année précédente (Source : La Financière agricole du Québec);
- ✓ Carte écoforestière (Source : Ministère des ressources naturelles du Québec / Système d'information écoforestière - SIEF)
- ✓ Pédologie (carte des sols) (Sources : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement – IRDA et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec – MAPAQ)
- ✓ Sous-bassins de la zone d'étude (s'il n'y a pas de sous-bassins, il est possible d'utiliser la limite de la zone d'étude) (Sources : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec / Centre d'expertise hydrique du Québec- CEHQ ou Ressources naturelles Canada- Géogratis ou Géobase)
- ✓ Hydrographie surfacique (attention : il est important d'utiliser uniquement les lacs, certaines bases de données sur l'hydrographie surfacique contiennent également les îles et les milieux humides) (Sources : Ministère des Ressources naturelles du Québec – BDTQ ou Ressources naturelles Canada – Géogratis ou Géobase)

Vecteurs de lignes :

- ✓ Hydrographie linéaire (Sources : Ministère des Ressources naturelles du Québec – BDTQ ou Ressources naturelles Canada – Géogratis ou Géobase)

Note : Les vecteurs de polygones et de lignes ici mentionnés se retrouvent tous à l'intérieur du logiciel SIGMA (Système d'Information Géographique Ministériel en Alimentation) du MAPAQ.

Rasters :

- ✓ Modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude. (Il est préférable d'utiliser un MNT réalisé à partir d'un relevé LiDAR ou GPS puisque la précision et la résolution du MNT en entrée conditionnent grandement les résultats en sortie)

Tel que mentionné dans le guide d'utilisateur de l'ODEP, « un utilitaire informatique ne remplace cependant pas le jugement professionnel du conseiller agricole » (Michaud et al., 2008). Bien que GEODEP soit un modèle grandement automatisé, l'ajout manuelle de certaines informations aux données en entrée est possible et plus encore souhaitable. En effet, les données en entrée à fournir par l'utilisateur ne concernent pas la régie des sols et des cultures. Bien que des informations par défaut soient établies à l'intérieur du modèle, l'utilisateur est souvent en mesure de fournir davantage d'informations plus précises sur les champs à l'étude. Ces ajouts manuels sont donc des plus importants puisque plus les données d'entrée sont justes et précises, plus les résultats en sortie le seront également.

De plus, puisque les équations présentes dans GEODEP ont été développées dans le cadre du projet ODEP, il est possible de se référer aux documents rédigés dans le cadre de ce projet pour obtenir des explications sur l'origine de ces équations. Ces documents sont disponibles sur le site Internet de l'IRDA : <http://www.irda.qc.ca/fr/ODEP>.

2.2. Données en entrée fournies avec le modèle GEODEP

Tables (contenues dans la géodatabase de GEODEP portant le nom ODEP_Spatial.gdb)

- ✓ Amenag_hydroagric

Base de données faisant référence aux aménagements de structure de contrôle et aux bandes riveraines, c'est-à-dire les paramètres Avaloir et Bande-riveraine dans l'ODEP. La base de données contient ces deux champs et indique les valeurs possibles à utiliser : chiffres de 1 à 3 pour Avaloir et de 1 à 4 pour Bande_riveraine. Cette base de données est liée à la BDCA et à la carte écoforestière dans le module Préparation des données de GEODEP. Les valeurs par défaut sont 1 pour Avaloir et 1 également pour Bande_riveraine.

Tableau 1. Valeurs possibles pour le paramètre Avaloir

Code	Signification
------	---------------

1	Absentes
2	Captage partiel
3	Captage systématique

Tableau 2. Valeurs possibles pour le paramètre Bande_riveraine

Code	Signification
1	Ne s'applique pas
2	Inférieur à 1 mètre
3	De 1 à 3 mètres
4	4 mètres et plus

✓ RegieCultures

Base de données faisant référence à tout ce qui concerne la régie des cultures : les applications d'engrais minéraux et d'engrais de ferme, le travail du sol, et les cultures de couverture. Ces informations correspondent à 14 paramètres de l'ODEP : Min_P, Min_volée, Fum1_P_dose, Fum1_période, Fum1_délai, Fum2_P_dose, Fum2_période, Fum2_délai, Fum3_P_dose, Fum3_période, Fum3_délai, Trav_Sol, Couverture_associée, Couverture_dérobée. La base de données fournit ces 14 champs qui sont nécessaires dans ODEP et GEODEP et indique les valeurs possibles à utiliser. Cette base de données est liée à la BDCA et à la carte écoforestière dans le module Préparation des données de GEODEP. Une fois la base de données liée à la BDCA, des valeurs par défaut (représentant le plus fidèlement possible la réalité) sont attribuées à ces champs. Pour Min_P, Min_volée, Fum1_P_Dose, Fum2_P_Dose, et Fum3_P_Dose, les valeurs à entrer sont des quantités, il n'y a donc pas de limites dans les valeurs possibles.

Tableau 3. Valeurs possibles pour les paramètres Fum1_période, Fum2_période et Fum3_période

Code	Signification
1	Pré-semi
2	Post-levée
3	Automne hâtif
4	Automne tardif

Tableau 4. Valeurs possibles pour les paramètres Fum1_délai, Fum2_délai et Fum3_délai

Code	Signification
1	Incorporé en 48 heures
2	Incorporé de 48 heures à une semaine
3	Supérieur à une semaine
4	Non incorporé

Tableau 5. Valeurs possibles pour le paramètre Trav_Sol

Code	Signification
1	Labour à l'automne et travail secondaire au printemps

2	Chisel ou pulvérisateur à l'automne et travail secondaire au printemps
3	Déchaumage au printemps et travail secondaire au printemps
4	Semi-direct ou billons

Tableau 6. Valeurs possibles pour les paramètres Couv_associée et Couv_dérobée

Code	Signification
1	VRAI
0	FAUX

Tableau 7. Valeurs par défaut des paramètres liés à la régie des cultures

Paramètre	Valeur par défaut
Min_P	Si Culture = MAI ou MAR et si P_M3 <= 120 : 20, sinon 0 Si Autre culture : 0
Min_Volée	0
Fum1_P_Dose	Fonction de la Culture, du P_M3, du P_AL_M3 et de AL_M3 (pour davantage de détails voir la section des équations du modèle en annexe)
Fum1_période	1
Fum1_délai	Si culture = MAI ou MAR : 2, sinon 4
Fum2_P_Dose	Fonction de la Culture, du P_M3, du P_AL_M3 et de AL_M3 (pour davantage de détails voir la section des équations du modèle en annexe)
Fum2_période	2
Fum2_délai	4
Fum3_P_Dose	0
Fum3_période	0
Fum3_délai	0
Trav_Sol	Si Culture = FOI ou NON : 4, sinon 1
Couv_associée	0
Couv_dérobée	0

✓ Analyse_sol1

Base de données faisant référence aux propriétés des sols, c'est-à-dire les paramètres Pmelich (Teneur du sol en P Mehlich-3 en kg/ha) et SatAL (Saturation du sol en Al Mehlich-3 en pourcentage) dans l'ODEP. La base de données contient ces deux champs qui sont obligatoires dans l'ODEP, mais ne contient pas de valeurs. Les valeurs de ces deux colonnes sont ajoutées ultérieurement (voir plus bas pour des détails sur cette base de données). La base de données Analyse_sol1 est liée à la BDCA et à la carte écoforestière dans le module Préparation des données de GEODEP.

✓ Modul_GrHydro

Base de données faisant référence au drainage et à la condition du profil cultural, c'est-à-dire les paramètres Drainage_souterrain, Drainage_surface, Condition_hydro dans l'ODEP. La base de données contient ces trois champs qui sont nécessaires à l'ODEP et GEODEP et indique les valeurs possibles à utiliser soit des chiffres de 1 à 3. Cette base de données est liée à la BDCA et la carte écoforestière dans le module Préparation des données de GEODEP.

Tableau 8. Valeurs possibles pour le paramètre Drainage souterrain

Code	Signification
1	Systématique
2	Partiel
3	Absent (valeur par défaut)

Tableau 9. Valeurs possibles pour le paramètre drainage de surface

Code	Signification
1	Bon
2	Moyen (valeur par défaut)
3	Mauvais

Tableau 10. Valeurs possibles pour le paramètre condition du profil cultural

Code	Signification
1	Bonne (valeur par défaut)
2	Présence de zone à risque
3	Dominance de zone à risque

✓ SOLS_ODEP_1

Base de données sur les sols créée dans le cadre du projet ODEP. Cette base de données contient, pour un grand nombre de séries de sol québécoises, entre autres des informations sur les pourcentages d'argile, de limon, de sable, de matière organique, et de sable très fin, un code de perméabilité, un code de structure, le P naturel dans le sol et le groupe hydrologique. Ce sont toutes des informations nécessaires à la réalisation des calculs dans l'ODEP. Cette base de données est expliquée davantage dans le manuel de l'utilisateur de l'ODEP (Michaud et al., 2008). Notons toutefois que les groupes hydrologiques, plutôt que de porter des lettres, possèdent des équivalents en chiffre : A = 3, B = 5, C = 7, et D = 9. SOLS_ODEP_1 est liée à la carte pédologique dans le module Préparation des données de GEODEP.

Vecteurs de polygones (contenus dans la géodatabase de GEODEP portant le nom ODEP_Spatial.gdb)

✓ Mun_AnalyseSol95_01

Base de données de Pierre Beaudet publiée sur le site Agri-réseau : <http://www.agrireseau.qc.ca/references/6/SOLS/index.htm> (Beaudet et al. 2004). Cette

base de données contient pour un grand nombre de municipalités du Québec des informations sur des analyses de sol réalisées entre 1995 et 2001. Dans le cadre de GEODEP des informations sur la teneur moyenne en P Mehlich-3 (kg/ha), la saturation moyenne des sols en phosphore (%) et la quantité d'Aluminium (mg/kg) par municipalité sont utilisées à titre de valeurs par défaut pour ces paramètres obligatoires. Ces paramètres entrent notamment dans le calcul des valeurs par défaut des doses de fumier. Au préalable, cette base de données a été liée à la couche polygonale des municipalités du Québec afin de spatialiser ces informations.

✓ zoneAgric18:

Le MAPAQ a subdivisé le Québec en 18 régions agricoles. Ces mêmes régions sont utilisées dans la base de données pédologique de l'ODEP pour subdiviser le territoire, c'est-à-dire pour identifier la localisation des différents types de sol. En effet, le même sol peut se retrouver dans deux régions ou zones agricoles. Puisque ces sols peuvent être quelque peu différents, la zone agricole est utilisée pour préciser l'information sur les sols. Dans GEODEP, la carte des 18 zones agricoles est jointe à la carte pédologique pour préciser la localisation des sols. La base de données des zones agricoles est jointe spatialement dans le module préparation des données de GEODEP.

✓ SousRegionsAgric27

Dans l'ODEP, les 18 zones agricoles sont subdivisées en 27 sous-régions agroclimatiques afin d'appliquer des facteurs de pondération agroclimatique représentatifs des différentes régions du Québec. Dans l'ODEP, les algorithmes du module Agroclimat sont utilisés pour ajuster les prédictions hydrologiques du module Hydrologie en fonction de la localisation du secteur à l'étude. Les facteurs de pondération climatique sont ceux de la lame d'eau ruisselée et du ruissellement annuel. Dans GEODEP, les facteurs de pondération agroclimatiques ont été intégrés au module Hydrologie. La couche polygonale SousRegionsAgric27 permet de localiser la zone à l'étude et d'ajuster les facteurs mentionnés plus haut en fonction de sa localisation dans une de ces 27 sous-régions agroclimatiques.

2.3. Description des 6 modules de GEODEP

Division du modèle en 6 modules :

- 1- Préparation des données
- 2- URH (Unités de réponse hydrologique)
- 3- LS de MUSLE
- 4- Hydrologie
- 5- Phosphore
- 6- Quantités

1- Préparation des données

Le module de préparation des données permet de formater les données fournies par l'utilisateur et de les lier aux données fournies à l'intérieur de GEODEP. Ce module est d'une grande importance puisqu'il permet de s'assurer d'avoir toutes les données nécessaires à l'utilisation des autres modules. Une fois l'exécution du module *Préparation des données* terminée, il est très important que l'utilisateur complète la base de données. En effet, GEODEP fournit pour plusieurs champs ou paramètres des valeurs par défaut. Si ces informations sont connues par l'utilisateur, (comme par exemple la présence de drains souterrains, l'application d'engrais minéraux ou de fumier, la teneur du sol en P-Mehlich-3 ou sa saturation en aluminium, etc.), il est crucial que celui-ci modifie les valeurs par défaut de GEODEP. Des données plus précises que les valeurs par défaut permettront d'augmenter grandement l'exactitude des valeurs prédites par GEODEP. Pour modifier ces valeurs, l'utilisateur doit afficher la base de données sur les cultures et se mettre en mode édition dans ArcGIS afin d'inscrire les nouvelles valeurs aux endroits appropriés de la base de données (voir plus bas dans la section Manuel de l'utilisateur pour obtenir la façon de faire exacte).

2- URH

Dans le module préparation des données, des modifications ont été apportées à la BDCA, à la carte écoforestière et à la pédologie. Le module URH (Unité de Réponse Hydrologique) permet de recouper les polygones de ces trois couches ainsi que ceux des sous-bassins de la zone d'étude. D'abord, la carte écoforestière est «mise à jour» (voir en annexe pour l'explication de cette fonction) avec les informations de la BDCA pour former une couche plus complète de l'utilisation du territoire. Ensuite, une intersection est réalisée entre l'utilisation du territoire, la pédologie et les sous-bassins. Le recouplement de ces 3 couches d'information permet de créer de nouveaux polygones ayant un regroupement unique de caractéristiques. Ces URH ainsi créées sont les unités / surfaces de travail utilisées dans la suite des calculs. Les calculs seront donc réalisés pour chacune de ces unités de réponse hydrologique.

3- LS de MUSLE

Dans l'ODEP, l'exportation annuelle nette de sédiments est évaluée à partir des paramètres de MUSLE (Williams, 1975; Wischmeier et Smith, 1961; Wischmeier et Smith, 1978; Wall et al., 2002) (soit les paramètres K, L, S et C : l'érodabilité du sol, la longueur du parcours de l'eau, la pente et la culture). Les paramètres L et S peuvent être évalués sur le terrain, mais ils peuvent également être déterminés à partir d'un modèle numérique d'altitude ayant une bonne précision et une bonne résolution. Les relevés altimétriques LiDAR sont tout à fait adéquats pour la détermination de ces paramètres. Le module LS de MUSLE utilise donc un modèle numérique de terrain, pour calculer la longueur et la pente du parcours de l'eau pour chacune des URH. Ce module utilise également le réseau hydrographique, à la fois l'hydrographique linéaire et l'hydrographique surfacique pour s'assurer du bon écoulement de l'eau. Le module LS de MUSLE doit être exécuté après la réalisation des URH, car il utilise ces derniers, mais avant le module hydrologie car celui-ci utilise, quant à lui, certains résultats provenant du module LS de MUSLE.

4- Hydrologie

Le module Hydrologie de GEODEP correspond en grande partie au module Hydrologie d'ODEP. Toutefois dans GEODEP, le module Agroclimat est inclus dans le module Hydrologie. C'est dans ce module sur l'hydrologie que les calculs relatifs au ruissellement et au drainage souterrain sont réalisés. Les calculs des exportations de sédiments sont aussi effectués à l'intérieur de ce module, ce qui est quelque peu différent de l'ODEP où cela se fait dans le module Érosion. Le module hydrologie de GEODEP est assez simple, il correspond, en gros, à une succession d'ajout de champs (variables) et du calcul de ceux-ci dans le fichier URH_TOT. Toutefois, certaines informations provenant d'autres bases de données sont également jointes : soit celles des sous-régions agricoles pour appliquer les facteurs agroclimatiques, ainsi que la longueur (l) et la pente (s) moyenne par URH calculées dans le module LS_de_MUSLE.

5- Phosphore

Le module Phosphore de GEODEP correspond en grande partie au module Phosphore d'ODEP. On y calcule les concentrations en phosphore de même que la spéciation de celui-ci. Ce module nécessite une seule entrée soit la sortie du module Hydrologie qui correspond à la couche d'URH à laquelle est associée une base de données. Tout comme le module Hydrologie, le module Phosphore de GEODEP est assez simple, puisqu'il consiste en une succession d'ajout de champs (variables) et du calcul de ceux-ci dans le fichier URH_P.

6- Quantités

Le module Quantités est le dernier module de GEODEP. Il n'y a pas de module équivalent dans l'ODEP, mais il permet, tout comme ce dernier, de fournir des quantités exportées de sédiments et de phosphore pour les champs ou le territoire à l'étude. Ce module multiplie en fait les exportations calculées dans les modules précédents par les superficies des champs, ou les URH à l'étude, permettant ainsi de quantifier annuellement ces exportations. Il n'y a qu'un seul fichier d'entrée nécessaire qui est le fichier final du module Phosphore, soit URH_Qte. Ce module crée également les fichiers de sortie de GEODEP. La description des fichiers de sortie de GEODEP est contenue dans la section suivante.

2.4. Les résultats et fichiers de sorties de GEODEP

GEODEP crée 4 fichiers de sortie différents. Ces fichiers sont :

- ✓ Sorties_ODEPspatial1

Fichier des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore. Ce fichier est contenu dans la géodatabase du projet. En plus des résultats des différents modules, il contient aussi les valeurs entrées dans le modèle par l'utilisateur.

- ✓ Sorties_ODEPspatial1.shp

Shapefile des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore. Ce shapefile est contenu dans le dossier GEODEP, ainsi que les valeurs d'entrées du modèle GEODEP.

- ✓ Sorties_ODEPspatial2

Table des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans la géodatabase du projet, ainsi que les valeurs d'entrées du modèle GEODEP.

- ✓ Sorties_ODEPspatial2_RESUME

Table de résumé des URH (somme de l'ensemble des URH) avec des valeurs de quantités de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans la géodatabase du projet.

Les trois premiers fichiers mentionnés plus haut contiennent tous les mêmes informations, seul le format de sortie change. Ces fichiers en plus de comprendre les résultats finaux de l'GEODEP contiennent également les valeurs d'entrée afin que l'utilisateur puisse se référer à celles-ci ainsi que les valeurs intermédiaires calculées lors de l'exécution des modules de GEODEP. Concrètement, les champs d'intérêt de ces fichiers de sortie de GEODEP sont les suivants :

Tableau 11. Champs de sorties de GEODEP

Nom du champ dans la géodatabase	Nom du champ lorsqu'exporté en shapefile	Signification
Cult_Ante	Cult_Ante	Culture de l'année antécédente
TER_CO_FOR	TER_CO_FOR	Utilisation du territoire de la carte écoforestière
TER_CO_FOR2	TER_CO_F_1	Modification de l'utilisation du territoire de la carte écoforestière pour correspondre aux valeurs possibles de culture de la BDCA
MINP_B	MINP_B	Taux d'application de P (engrais minéraux en rang)
MINP_V	MINP_V	Taux d'application de P (engrais minéraux à la volée)

FUMP_DOSE	FUMP_DOSE	Dose 1 en P d'épandage d'engrais de ferme
FUM1_PER	FUM1_PER	Période du 1 ^{er} épandage
FUM1_DELAY	FUM1_DELAY	Délai d'incorporation de la dose 1
FUMP2_DOSE	FUMP2_DOSE	Dose 3 en P d'épandage d'engrais de ferme
FUM2_PER	FUM2_PER	Période du 2 ^e épandage
FUM2_DELAY	FUM2_DELAY	Délai d'incorporation de la dose 1
FUMP3_DOSE	FUMP3_DOSE	Dose 3 en P d'épandage d'engrais de ferme
FUM3_PER	FUM3_PER	Période du 3 ^e épandage
FUM3_DELAY	FUM3_DELAY	Délai d'incorporation de la dose 1
TRAV_SOL	TRAV_SOL	Travail du sol
Couv_ass	Couv_ass	Culture de couverture suivant la récolte
Couv_derob	Couv_derob	Culture de couverture durant la saison de production
Drai_Sout	Drai_Sout	Aménagement du drainage souterrain
Drai_surf	Drai_surf	Classe d'écoulement de surface
Cond_hydro	Cond_hydro	Condition du profil cultural
Bande_riv	Bande_riv	Bandes riveraines (présence)
Avaloir	Avaloir	Aménagements de structure de contrôle
Pmehlich	Pmehlich	Teneur du sol en P, Mehlich-3 (kg/ha)
SatAl_pc	SatAl_pc	Saturation du sol en Al, Mehlich-3 (%)
MUN_S_NO	MUN_S_NO	No de la municipalité
MUN_S_DESC	MUN_S_DESC	Nom de la municipalité
P_M3	P_M3	P Mehlich-3 (kg/ha) du sol (moyenne par municipalité)
P_AL_M3	P_AL_M3	Saturation moyenne des sols en phosphore (%) (moyenne par municipalité)
AL_M3	AL_M3	Quantité d'aluminium (mg/kg) dans le sol (moyenne par municipalité)
Util_terr	Util_terr	Utilisation du territoire incluant les cultures de la saison courante et la carte écoforestière
Subbasin	Subbasin	Numéro du sous-bassin
App_carto	App_carto	Appellation cartographique. Fait le lien avec les polygones des cartes de sol
nom_long	nom_long	Nom du sol
SOL1	SOL1	Appellation du sol 1 (sol dominant)
PCT_SOL1	PCT_SOL1	Pourcentage de l'unité cartographique couvert par le sol 1
SOL2	SOL2	Appellation du sol 2
PCT_SOL2	PCT_SOL2	Pourcentage de l'unité cartographique couvert par le sol 2
SOL3	SOL3	Appellation du sol 3
PCT_SOL3	PCT_SOL3	Pourcentage de l'unité cartographique couvert par le sol 3
SOL4	SOL4	Appellation du sol 4
PCT_SOL4	PCT_SOL4	Pourcentage de l'unité cartographique couvert par

		le sol 4
NO_ETUDE	NO_ETUDE	Numéro de l'étude pédologique
LIEN	LIEN	Champ incluant le numéro de l'étude et les séries de sol
LIEN1	LIEN1	Champ incluant le numéro de l'étude et la série de sol dominante. Il permet de joindre la banque de données pédologiques à la couverture (polygones de sol).
CD_SOL1	CD_SOL1	Code du sol dominant (série de sol)
CD_SOL2	CD_SOL2	Code du sol 2 (série de sol)
CD_SOL3	CD_SOL3	Code du sol 3 (série de sol)
CD_SOL4	CD_SOL4	Code du sol 4 (série de sol)
LIEND	LIEND	Code permettant de lier la légende détaillée des sols
LIENG	LIENG	Code permettant de lier la légende générale des sols
APPELLATION	APPELLATIO	Abréviation du nom de sol
NOM_SOL	NOM_SOL	Nom du sol dominant (série de sol)
SORTE	SORTE	Sorte de sol : minéral, non sol ou organique.
ORDRE	ORDRE	L'ordre correspond au classement de chaque sol en fonction du système hiérarchique défini par le Système Canadien de Classification des sols
SOUS_GROUPE	SOUS_GROUP	Le niveau du sous-groupe du Système Canadien de Classification des sols est défini selon le genre et l'arrangement des horizons qui marquent soit, une conformité avec le concept central du grand groupe ou des caractéristiques additionnelles dans la coupe témoin.
DRAINAGE	DRAINAGE	Classe de drainage des sols
MODE_DEPOT	MODE_DEPOT	Mode de déposition du sol
GRANULOMET	GRANULOMET	Granulométrie des sols
MINERALOGI	MINERALOGI	Minéralogie des sols
PROFONDEUR	PROFONDEUR	Profondeur du sol
App_carto		Appellation cartographique. Fait le lien avec les polygones des cartes de sol.
Nom_long		Nom du sol
Censis_1	Censis_1	Code du sol dominant (série de sol)
Region	Region	Région administrative du Québec
TEXT	TEXT	Texture du sol
ATOT	ATOT	Pourcentage d'argile du sol de surface
LTOT	LTOT	Pourcentage de limon du sol de surface
STOT	STOT	Pourcentage de sable du sol de surface
MATORG	MATORG	Pourcentage de matière organique
STFs	STFs	Pourcentage de sable très fin du sol de surface (provenant de la base de données)

		hydropédologiques de l'ODEP)
PERMs	PERMs	Perméabilité du sol (code de 1 à 5)
STRUCTURES	STRUCTURES	Code de structure du sol (code de 1 à 4)
CANSTEX	CANSTEX	Code de sol du système canadien de classification des sols et texture du sol
GR_HYDROs	GR_HYDROs	Groupe hydrologique du sol non drainé (code de 1 à 9)
P_naturel	P_naturel	Teneur naturel en phosphore naturel (mg/kg)
no_URH	no_URH	Identifiant unique du URH
SousReg_no	SousReg_no	No de la sous-région agricole (pour le calcul des facteurs de pondération agroclimatique)
SousReg	SousReg	Nom de la sous-région agricole (pour le calcul des facteurs de pondération agroclimatique)
FactQtot	FactQtot	Facteur de pondération agroclimatique de la lame d'eau annuelle
Factruissm	Factruissm	Facteur de pondération agroclimatique du ruissellement annuel
Qsurf3	Qsurf3	Ruisseaulement (Lame d'eau exportée en mm/an)
Qsout2	Qsout2	Écoulement aux drains (Lame d'eau exportée en mm/an)
FactC	FactC	Facteur de couverture végétale pour la prédiction des exportations nettes de sédiments (tenant en compte la culture et la pratique culturale)
Param_a	Param_a	Paramètre de calage de l'équation liant la hauteur de ruissellement à la prédiction des sédiments exportés : pente de l'équation
Param_b	Param_b	Paramètre de calage de l'équation liant la hauteur de ruissellement à la prédiction des sédiments exportés : ordonnées à l'origine de l'équation
FactK	FactK	Facteur d'érodabilité du sol
PentePC_moy	PentePC_mo	Pente moyenne du parcours de l'eau
L_moy	L_moy	Longueur moyenne du parcours de l'eau
LS1	LS1	Facteur LS : Longueur et pente du parcours de l'eau
Sed2	Sed2	Exportation annuelle nette de sédiments (kg/ha/an)
ConcMES	ConcMES	Concentrations en matières en suspension (mg/l)
FactE	FactE	Facteur d'enrichissement du sol
Ppartsurf	Ppartsurf	Phosphore particulaire exporté par ruissellement (kg/ha/an)
PdissSURF	PdissSURF	Phosphore soluble exporté par ruissellement (kg/ha/an)
PdissDRAIN	PdissDRAIN	Phosphore soluble exporté par les drains souterrains (kg/ha/an)
PparticDRAIN	PparticDRA	Phosphore particulaire exporté par les drains souterrains (kg/ha/an)

PreactDRAIN	PreactDRAI	Phosphore réactif dissous exporté par les drains souterrains (kg/ha/an)
Eng_min	Eng_min	Enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 cm du sol en engrais minéraux
Eng_ferm	Eng_ferm	Enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 cm du sol en engrais de ferme (somme des trois doses possibles)
Ppartfert	Ppartfert	Phosphore particulaire exporté lié à la fertilisation (kg/ha/an)
PsInsurffert	PsInsurffe	Phosphore soluble exporté lié à la fertilisation (kg/ha/an)
Preactsurf	Preactsurf	Phosphore réactif dissous exporté par ruissellement (kg/ha/an)
Ptotal	Ptotal	Phosphore total exporté (secteurs en culture uniquement) (kg/ha/an)
PTotalTOUT	PTotalTOUT	Phosphore total exporté pour tous les secteurs (incluant les zones forestières, les milieux humides, les carrières, etc.) (kg/ha/an)
Pbio1	Pbio1	Phosphore biodisponible (kg/ha/an)
Zone_ha	Zone_ha	Superficie en hectares de l'unité de réponse hydrologique (URH)
VolQsurf	VolQsurf	Volume de ruissellement pour l'URH (mm/an)
VolQsout	VolQsout	Volume d'écoulement au drain pour l'URH (mm/an)
Qtesediment	Qtesedimen	Exportation annuelle nette de sédiments pour l'URH (kg /an)
QtePpartsurf	QtePpartsu	Phosphore particulaire exporté par ruissellement pour l'URH (kg/an)
QtePdissurf	QtePdissu	Phosphore soluble exporté par ruissellement pour l'URH (kg/an)
QtePpartdrain	QtePpartdr	Phosphore particulaire exporté par les drains souterrains pour l'URH (kg/an)
QtePsIndrain	QtePsIndra	Phosphore soluble exporté par les drains souterrains pour l'URH (kg/an)
QtePpartfert	QtePpartfe	Phosphore particulaire exporté lié à la fertilisation pour l'URH (kg/an)
QtePsInfert	QtePsInfer	Phosphore soluble exporté lié à la fertilisation pour l'URH (kg/an)
QtePtotal	QtePtotal	Phosphore total exporté pour l'URH (URH en culture uniquement) (kg/an)
QtePTotalTout	QtePTotalT	Phosphore total exporté pour l'URH (tous les URH (kg/an)
QtePbio	QtePbio	Phosphore biodisponible pour l'URH (kg/an) pour l'URH

NOTE :

En vert : Données provenant de la base de données sur les analyses de sol par municipalité (Mun_AnalyseSol95_01).

En rouge : Données provenant de la base de données des polygones de sol. Cette base de données est généralement déjà fournie avec les polygones de sol.

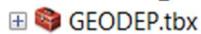
En turquoise : Données provenant de la base de données hydropédologiques de l'ODEP.

Représentant principalement des variables intermédiaires, les autres champs utilisés lors des divers calculs de GEODEP ne sont pas nécessaires à l'utilisateur. Toutefois, dans la couche URH_Qte, toutes les informations intermédiaires peuvent être consultées.

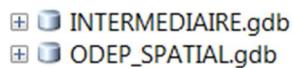
Les champs additionnés dans le fichier résumé sont : Qsurf3, Qsout2, lesquels sont en mm/an; Ppartsurf, PdissSURF, PdissDRAIN, PparticDRAIN, PreactDRAIN, Ppartfert, PsInsurffert, Preactsurf, Ptotal, PTotaTOUT, Pbio1, lesquels sont en kg/ha/an; et enfin Qtesediment, QtePpartsurf, QtePpartdrain, QtePsIndrain, QtePpartfert, QtePsInfert, QtePtotal, QtePTotaTout, QtePbio, lesquels sont en kg/an.

3. MANUEL DE L'UTILISATEUR

L'outil GEODEP est transmis sous forme de dossier, lequel contient une boîte à outils d'ArcGIS



ainsi que deux géodatabase :



Si vous avez la version 10 et plus d'ArcGIS (sinon ces étapes peuvent se faire dans ArcCatalog)

- 1- Copier le dossier GEODEP sur votre ordinateur
- 2- Ouvrir ArcMap
- 3- Une fois ArcGIS ouvert, ouvrir l'icône ArcCatalog et se déplacer dans les dossiers jusqu'à l'endroit où le dossier GEODEP a été copié.

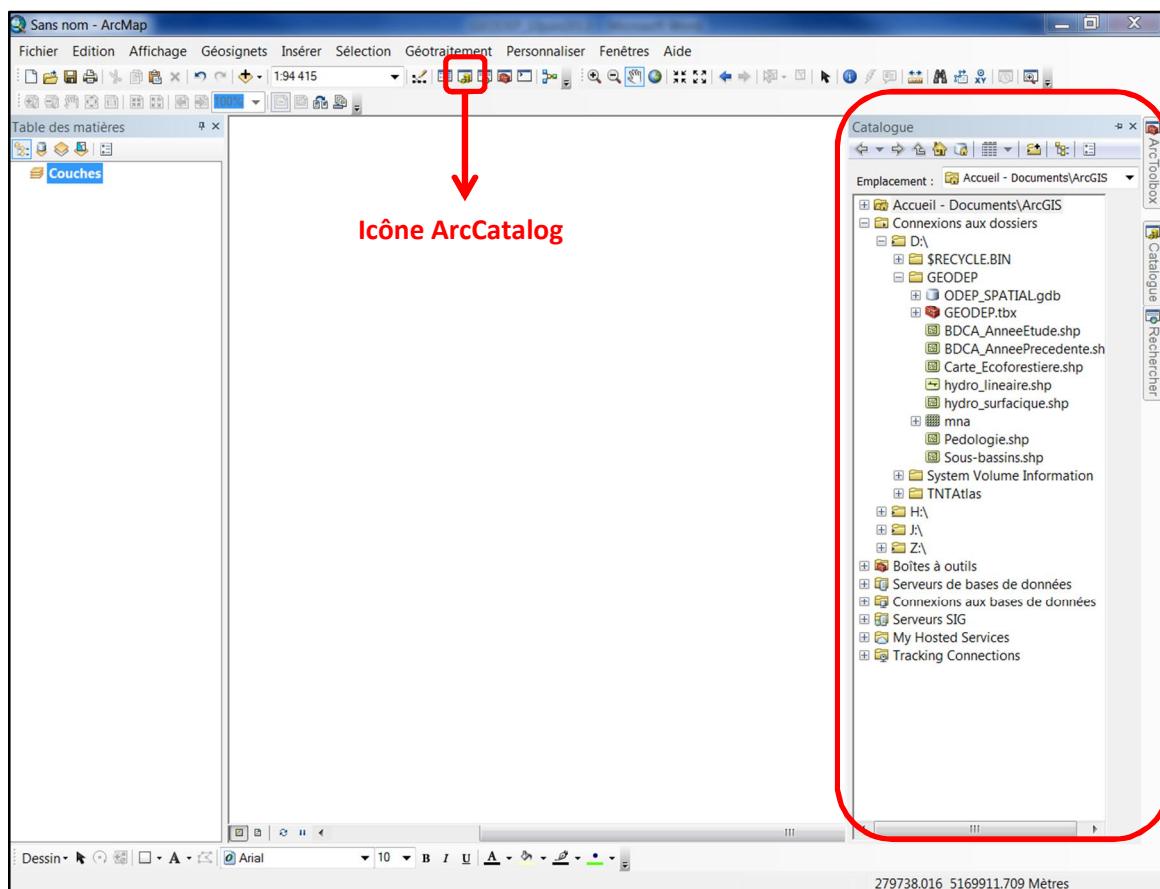


Figure 1. L'accès à ArcCatalog via ArcMap

- 4- Cliquer sur le petit plus (+) de la boîte à outil nommée GEODEP. Les six modules (qui sont chacun des modèles s'exécutant séparément) de GEODEP sont contenus dans cette boîte à outil.



- 5- Cliquer, avec le bouton de droite de la souris, sur 1_Preparation_Donnees et cliquer sur ouvrir ou double cliquer sur 1_Preparation_Donnees.
- 6- Le module 1_Preparation_Donnees s'ouvre. Comme pour les autres outils d'ArcGIS, il faut aller chercher les couches nécessaires au fonctionnement de l'outil en cliquant sur le petit dossier et en se déplaçant dans les dossiers sur l'ordinateur jusqu'à se rendre à la couche désirée. Notez que si des X (✗) sont présents à côté des couches dans le modèle, c'est simplement que puisque les noms de vos couches sont différents de ceux utilisés lors de la création du modèle ce dernier n'est pas capable de les retrouver automatiquement. Ce sont donc seulement ces couches avec un X rouge (✗) qu'il faut retracer, les autres ont été retracées par le modèle.
- 7- Dans ce cas-ci, il faudra possiblement identifier la localisation des couches suivantes :
- a) ODEP_SPATIAL.gdb (soit la géodatabase de GEODEP dans laquelle sont contenues les bases de données et couches vectorielles fournies avec le modèle)
 - b) RegieCulture (soit la base de données faisant référence à tout ce qui concerne la régie des cultures : les applications d'engrais minéraux et d'engrais de ferme, le travail du sol, et les cultures de couverture)
 - c) Amenag_hydroagric (soit la base de données faisant référence aux aménagements de structure de contrôle et aux bandes riveraines)
 - d) Modul_GrHydro (soit la base de données faisant référence au drainage et à la condition du profil cultural)
 - e) Analyse_sol1 (soit la base de données faisant référence aux propriétés des sols, c'est-à-dire les paramètres Pmelich et SatAL dans l'ODEP)
 - f) Mun_AnalyseSol95_01 (soit les polygones des municipalités du Québec avec des informations sur la teneur moyenne en P Mehlich-3 et la saturation moyenne des sols en Al par municipalité)
 - g) zonesAgric18 (soit les polygones des 18 régions agricoles du Québec)
 - h) SOLS_ODEP_1 (soit la base de données sur les sols créée dans le cadre du projet ODEP).
 - i) BDCA_AnnéeEtude.shp (soit les polygones des champs à l'étude et leur culture lors de l'année d'intérêt)
 - j) BDCA_Anneeprecedente.shp (soit les polygones des champs à l'étude et leur culture lors de l'année précédent l'année d'intérêt)

- k) Carte_Ecoforestière.shp (soit les polygones de la carte écoforestière qui correspond à l'utilisation du territoire)
- l) Sous-bassins.shp (soit les sous-bassins de la zone d'étude)
- m) Pedologie.shp (soit les polygones de sol)
- n) MNT (soit un modèle numérique d'altitude en format raster)

Notez que généralement le modèle retrace automatiquement les couches contenues dans la Géodatabase ODEP_SPATIAL.gdb et fournit avec GEODEP).

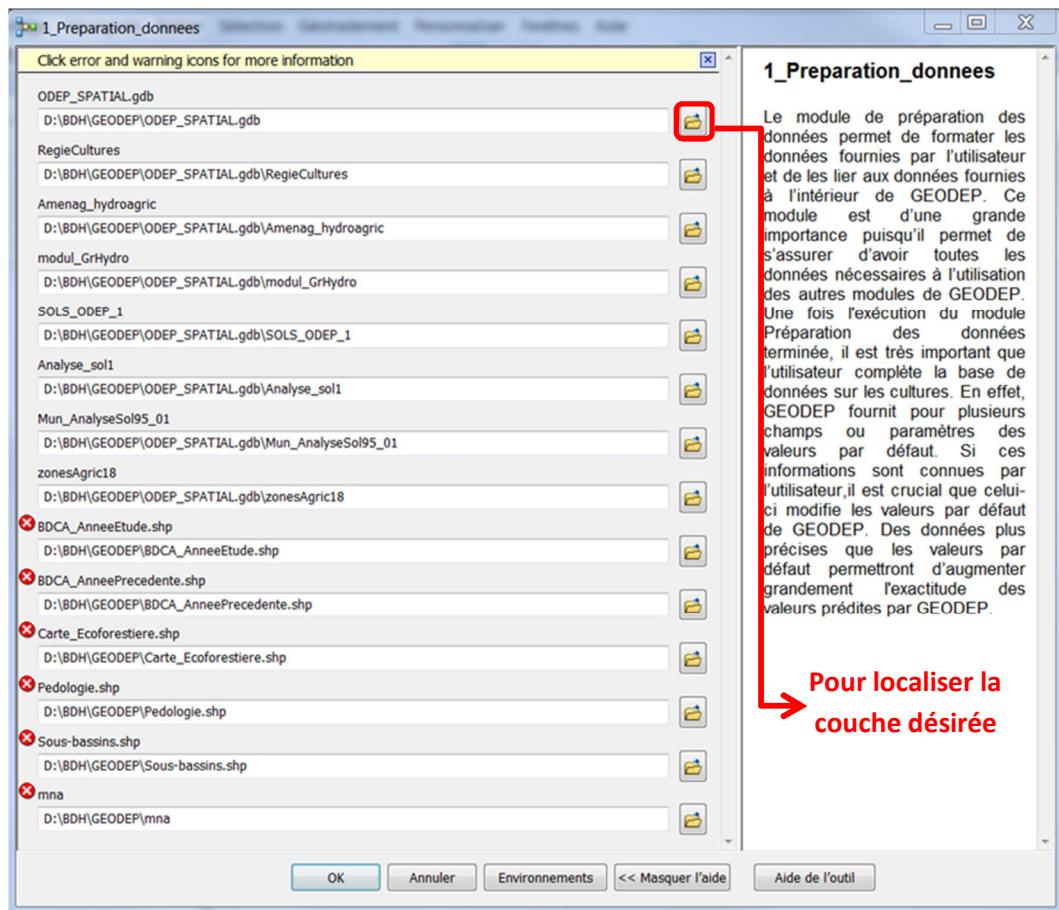


Figure 2. Identification des couches nécessaires au modèle

- 8- Une fois toutes les couches identifiées, il ne reste plus qu'à cliquer sur OK et le modèle s'exécute.
- 9- À la fin de l'exécution de chaque module, une fenêtre apparaît indiquant que le modèle a été exécuté avec succès, il ne reste qu'à cliquer sur Fermer pour terminer le processus.

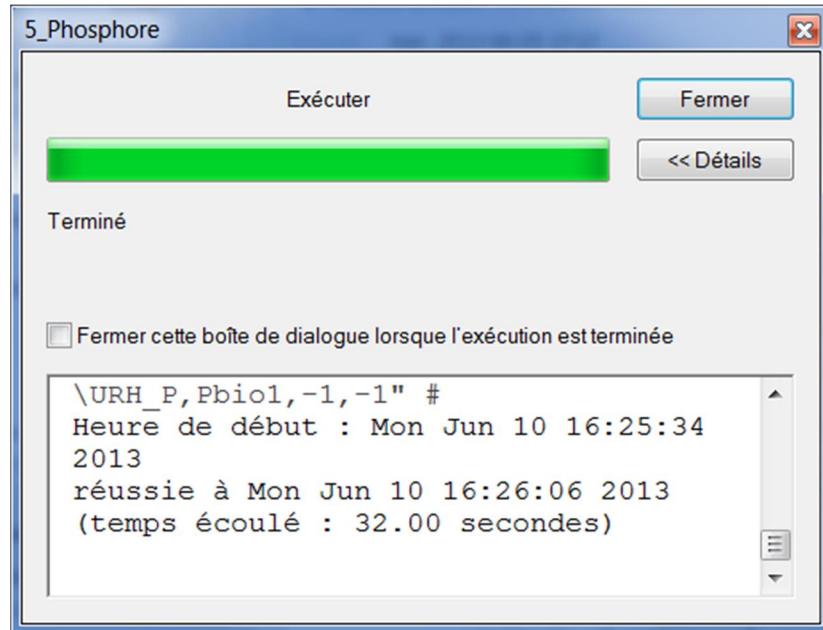


Figure 3. Fenêtre de finalisation de l'exécution du modèle

10- Il est très important de noter qu'une fois que ce module s'est exécuté, il est possible de modifier les informations sur les champs à l'étude. Cette étape est très importante et permettra d'obtenir des résultats plus précis d'exportations de sédiments et nutriments. Voici comment faire pour modifier la base de données des cultures :

- a. À la fin de l'exécution du modèle, des couches sont ajoutées dans ArcMAP, la couche à modifier se nomme BDCA_2ans. Si les couches ne s'affichent pas automatiquement, il faut les ajouter manuellement avec l'outil Ajouter des données (la couche BDCA_2ans. Elle se trouve dans la géodatabase ODEP_Spatial.Gdb.
- b. Dans la table des matières (section où sont contenues les couches, généralement à gauche dans ArcMAP), cliquez sur la couche BDCA_2ans avec le bouton de droite de la souris, puis cliquez sur Ouvrir la table attributaire. Cela permet de voir la base de données attachée aux polygones des champs.

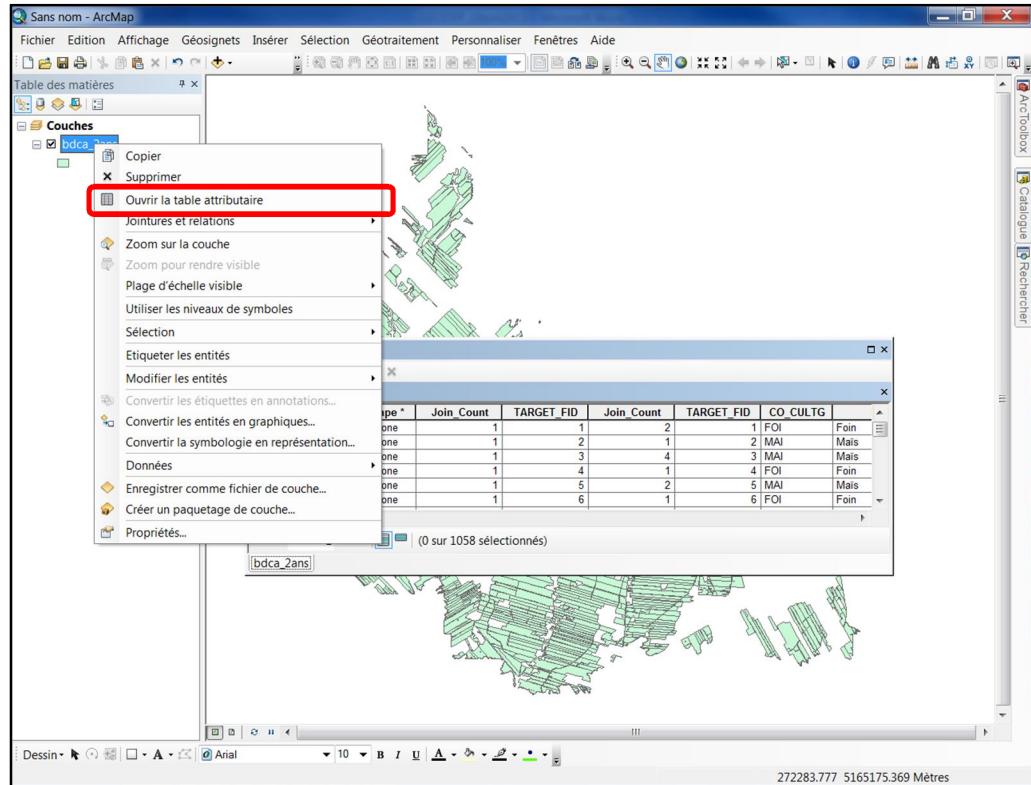


Figure 4. Ouverture de la table d'attributs

- c. Dans la table des matières, cliquez sur la couche avec le bouton de droite de la souris, puis cliquez sur Modifier les entités, puis sur Ouvrir une session de mise à jour. Cela permet de mettre la couche en mode édition et de modifier à la fois les polygones et le contenu de la base de données.

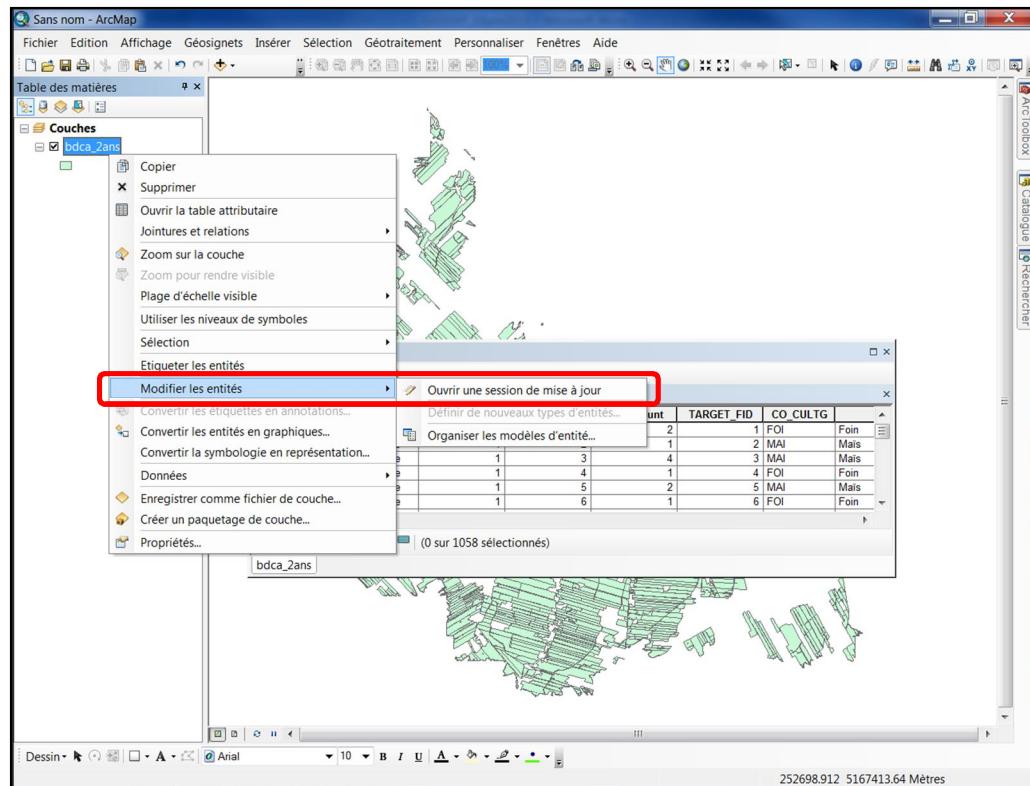


Figure 5. Ouverture d'une session de mise à jour (édition)

Si des informations sont disponibles, les colonnes suivantes peuvent être modifiées : Min_P, Min_volée, Fum1_P_dose, Fum1_période, Fum1_délai, Fum2_P_dose, Fum2_période, Fum2_délai, Fum3_P_dose, Fum3_période, Fum3_délai, Trav_Sol, Couverture_associée, Couverture_dérobée, Drai_Sout, Drai_surf, Cond_hydro, Bande_riveraine, Aménagements, Terneur en P mehlich, Saturation en Al (%), Culture de la saison antécédente, et Utilisation du territoire. * Attention, il est important de respecter les valeurs possibles surtout pour les cultures afin que les calculs se fassent convenablement. Les valeurs possibles pour les cultures sont : AUC (autre céréale), AVO (avoine), BLE (blé), CNL (canola), FOI (foin), MAI (maïs), MIX (mixte), NON (Pas d'information : traité comme si c'était du foin), ORG (orge), PTF (petits fruits), SOY (soya).

- En mode édition, il est également possible de tracer les contours d'un champ n'apparaissant pas dans la BDCA. Pour ce faire, il faut utiliser l'outil Crée des entités () situé dans la barre de menu Éditeur.

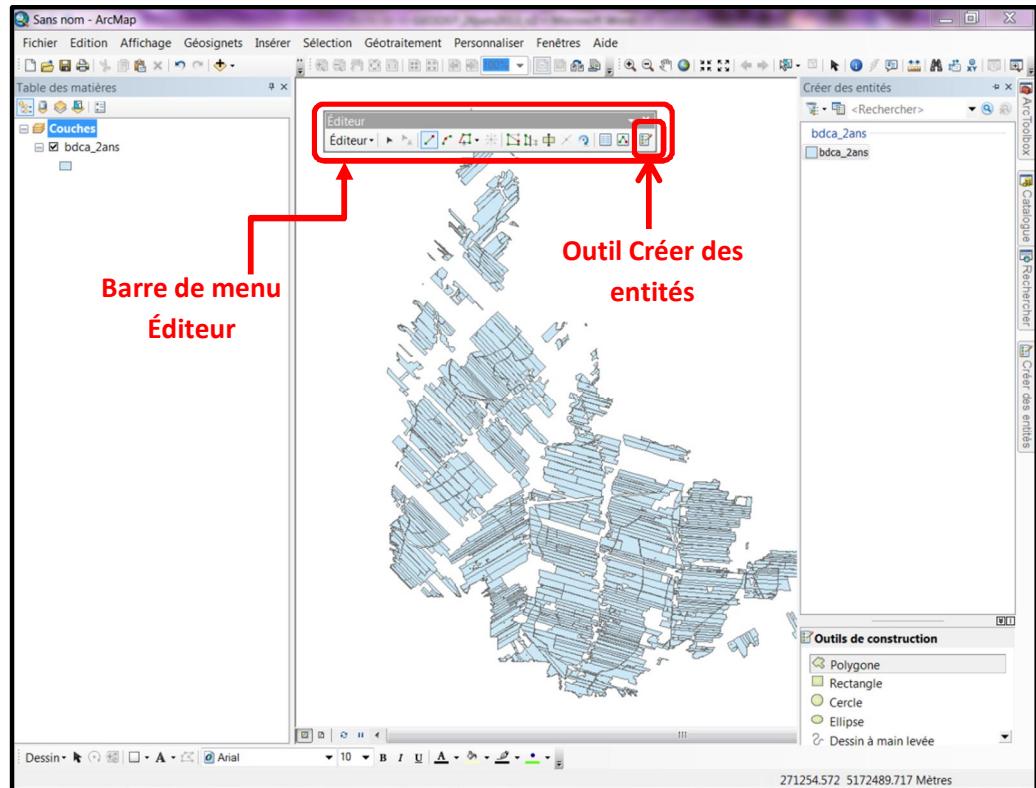


Figure 6. Édition d'une couche dans ArcGIS

On peut ensuite avec les outils de création de segment, tracer le contour du champ. Pour terminer l'édition de ce champ, cliquer sur le bouton de droite avec la souris et puis sur Terminer la construction. Une ligne supplémentaire s'ajoute dans la base de données attachée et il suffit alors de modifier les valeurs des colonnes désirées.

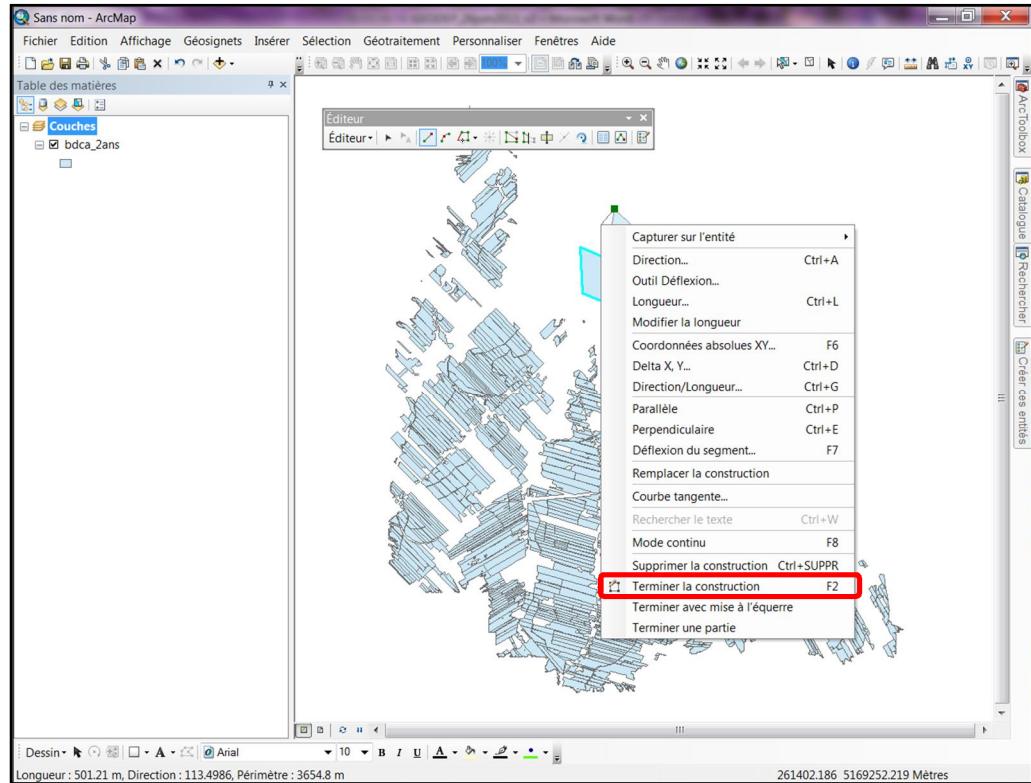


Figure 7. Finalisation de l'édition d'un polygone dans ArcGIS

- e. Une fois toutes les modifications souhaitées apportées, dans la barre de menu Éditeur, cliquez sur Enregistrer les mises à jour puis sur Quitter la session de mise à jour.

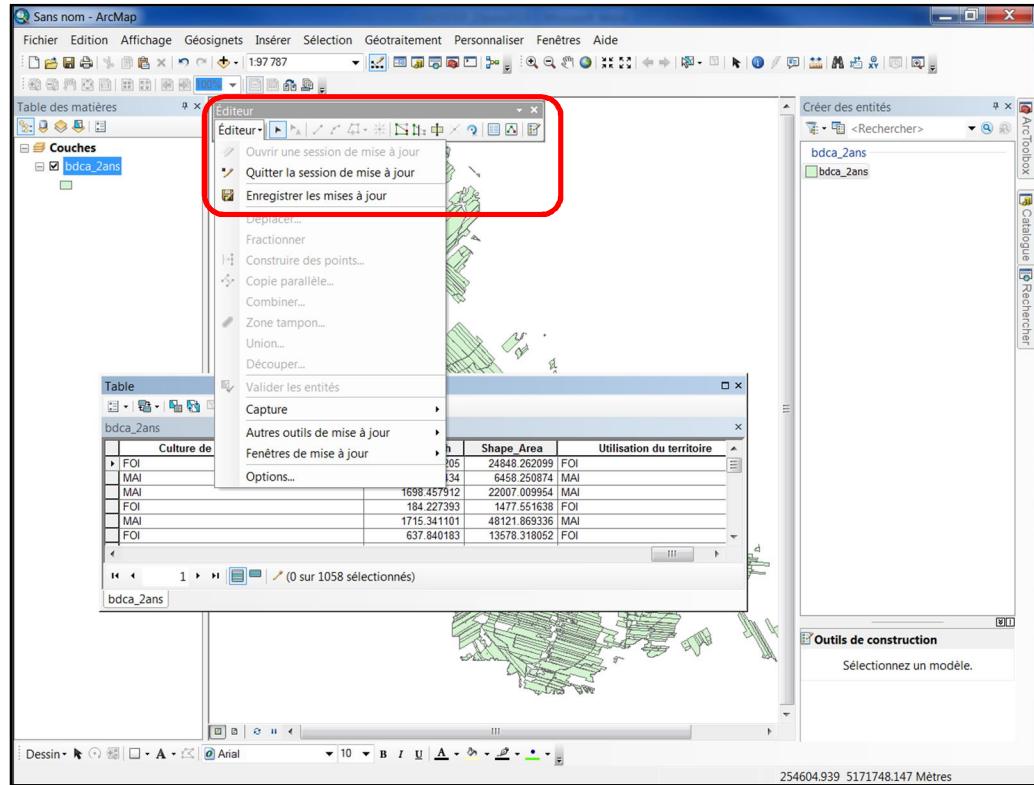


Figure 8. Enregistrement des modifications et fermeture de la session de mise à jour

11- Une fois toutes les modifications terminées, il est temps de former les unités de réponse hydrologiques et donc d'exécuter le module 2_UHR. Comme pour le premier module, il faut ouvrir le modèle. Et, il faut de nouveau aller chercher les couches nécessaires au fonctionnement de l'outil en cliquant sur le petit dossier et en se déplaçant dans les dossiers sur l'ordinateur jusqu'à se rendre à la couche désirée. Dans ce cas-ci, il faut identifier la localisation des couches suivantes :

- a) bdca_2ans (soit la couche des cultures combinant à la fois la culture de l'année d'étude et la culture de l'année précédente)
- b) ecofor (soit la couche de la carte écoforestière modifiée dans le module 1_Preparation_donnees)
- c) Sous-bassins (soit la couche des sous-bassins de notre zone d'étude maintenant contenue dans la géodatabase ODEP_SPATIAL)
- d) Pedo2 (soit les polygones de sol modifiés dans le premier module)
- e) *Les couches mentionnées ici ont toutes été créées lors de l'exécution du module 1_Preparation_donnees et sont contenues dans la géodatabase ODEP_SPATIAL.gdb qui est fournie avec le modèle.

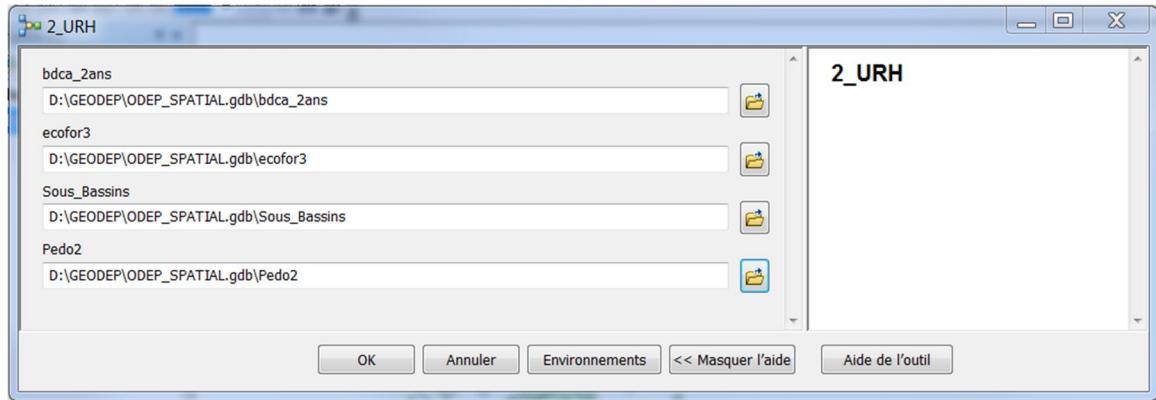


Figure 9. Fenêtre du 2^e module de GEODEP : 2_URH

12- Une fois toutes les couches identifiées, il ne reste plus qu'à cliquer sur OK et le module (modèle) s'exécute.

13- Le troisième module à exécuter est : 3_LS_de_MUSLE. Ce modèle est un peu plus complexe car en plus de devoir repérer les couches à ajouter, il faut également identifier certains autres paramètres. Les paramètres de ce module sont :

- a) La géodatabase du projet : ODEP_SPATIAL.gdb
- b) Le MNT LiDAR (celui contenu dans la géodatabase)
- c) La résolution du MNT LiDAR, c'est-à-dire la taille des pixels (en m) (généralement les MNT LiDAR ont une résolution d'un ou deux mètres)
- d) La couche d'hydrographie surfacique (qui correspond aux lacs et aux larges rivières, aussi appelées rivières doubles)
- e) La couche d'hydrographie linéaire (qui correspond à la majorité des rivières)
- f) La profondeur d'encavement du cours d'eau en mètres (la valeur -5 est relativement standard, mais -3 peut également être utilisé ou -10 si la topographie est très accentuée). La profondeur d'encavement sert à creuser le MNT pour permettre à l'eau de s'écouler plus facilement dans les cours d'eau comme c'est le cas dans la réalité terrain.
- g) La largeur de la zone tampon. La zone tampon est créée autour de l'hydrographie linéaire pour la rendre plus réaliste en termes de surface couverte et la transformer en polygone. La largeur de la zone tampon utilisée doit au moins correspondre à la résolution du MNT, car l'hydrographie sera transformée en matrice et elle doit être suffisamment large pour correspondre à un pixel.
- h) La taille de la cellule. C'est la taille du pixel de la couche d'hydrographie lorsqu'elle sera transformée en matrice. De préférence, la taille de la cellule de l'hydrographie doit être la même que celle du MNT.
- i) URH_TOT. C'est la couche des unités de réponse hydrologique créées dans le module 2_URH de GEODEP. Elle est utilisée afin de calculer un LS moyen pour chaque URH.

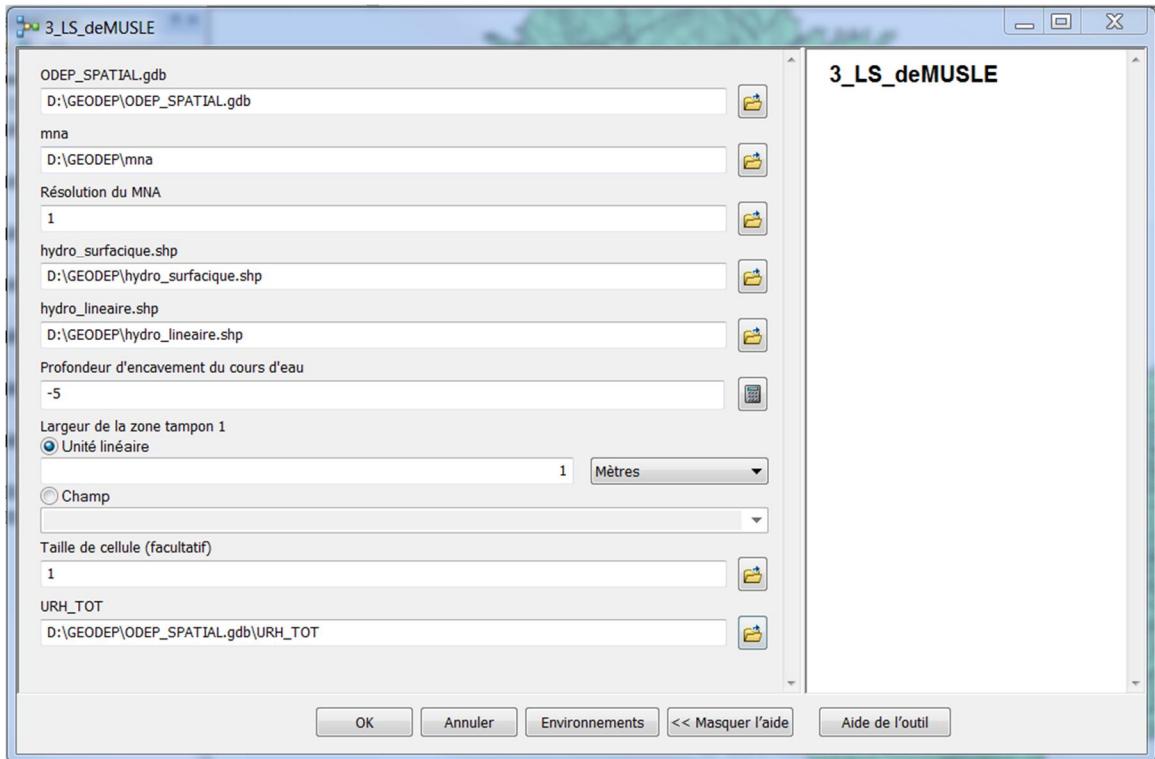


Figure 10. Fenêtre du 3^e module de GEODEP : 3_LS_deMUSLE

14- Le quatrième module à exécuter est le module 4_Hydrologie. Comme pour les précédents modules, il faut aller chercher les couches nécessaires au fonctionnement de l'outil en cliquant sur le petit dossier et en se déplaçant dans les dossiers sur l'ordinateur jusqu'à se rendre à la couche désirée. Dans ce cas-ci, il faut identifier la localisation des couches suivantes :

- a) La géodatabase du projet : ODEP_SPATIAL.gdb
- b) URH_TOT (soit la couche des URH créées précédemment)
- c) SousRegionsAgric27. Dans l'ODEP, les 18 zones agricoles du MAPAQ sont subdivisées en 27 sous-régions agroclimatiques afin d'appliquer des facteurs de pondération agroclimatique représentatifs des différentes régions du Québec.

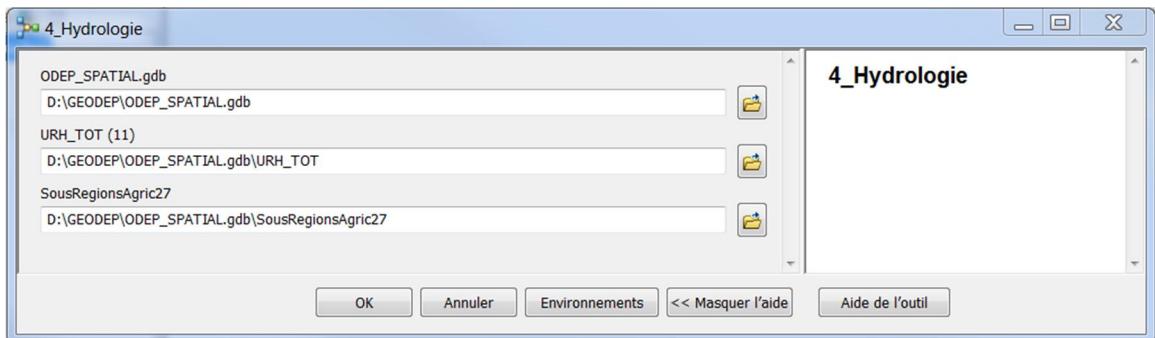


Figure 11. Fenêtre du 4^e module de GEODEP : 4_Hydrologie

- 15- Le cinquième module est celui concernant le phosphore et se nomme très simplement 5_Phosphore. On l'exécute en double-cliquant dessus et puis on retrace les couches nécessaires à son fonctionnement comme pour les autres modules. Le module Phosphore est assez simple et ne requiert que deux paramètres :
- La géodatabase du projet : ODEP_SPATIAL.gdb
 - La couche URH_P qui est créée à la fin du module 4_Hydrologie.

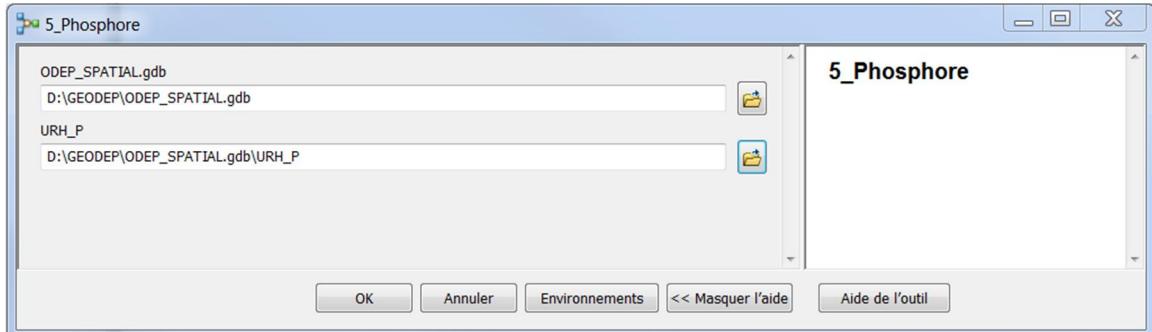


Figure 12. Fenêtre du 5^e module de GEODEP : 5_Phosphore

- 16- Le dernier module de GEODEP se nomme 6_Quantités. Il permet de calculer par URH les exportations de sédiments et de phosphore et de résumer l'information pour l'ensemble des URH, c'est-à-dire pour la zone d'étude. La façon de l'exécuter est la même que pour les précédents modules et les paramètres à identifier sont :
- Le dossier de GEODEP dans lequel la géodatabase et la boîte à outils sont contenus
 - La géodatabase du projet : ODEP_SPATIAL.gdb
 - La couche URH_Qte qui est créée à la fin du module 5_Phosphore.

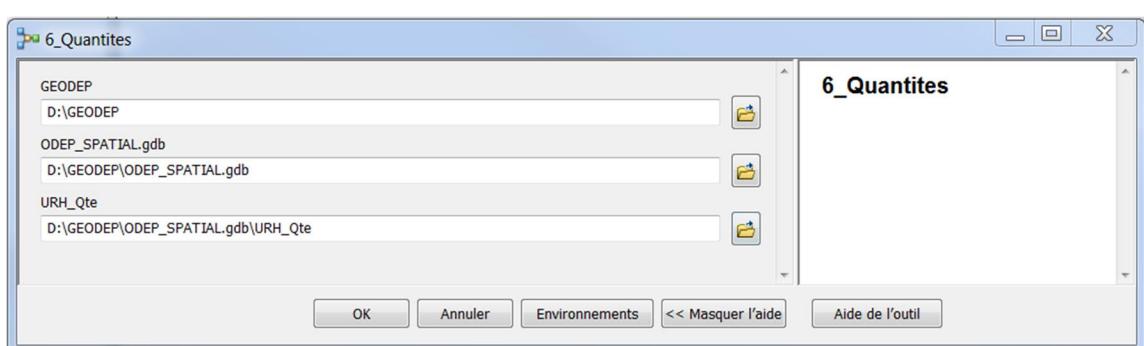


Figure 13. Fenêtre du 6^e module de GEODEP : 6_Quantites

Une fois tous les modules exécutés, les fichiers contenant les résultats finaux sont :

- ✓ Sorties_ODEPspatial1 (fichier des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans la géodatabase du projet)

- ✓ Sorties_ODEPspatial1.shp (Shapefile des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans le dossier du projet).
- ✓ Sorties_ODEPspatial2 (Table des URH avec des valeurs de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans la géodatabase du projet)
- ✓ Sorties_ODEPspatial2_RESUME.shp (Table de résumé des URH (somme de l'ensemble des URH) avec des valeurs de quantités de ruissellement, d'écoulement aux drains, et d'exportations de sédiments et de phosphore contenu dans la géodatabase du projet)

Les bases de données Sorties_ODEPspatial2 et Sorties_ODEPspatial2_RESUME contenues dans la géodatabase du projet peuvent être exportées en .txt ou .dbf pour être utilisées dans Excel. Voici comment faire :

- 1- Cliquer avec le bouton de droite sur la couche
- 2- Cliquer sur Données, puis sur Exporter

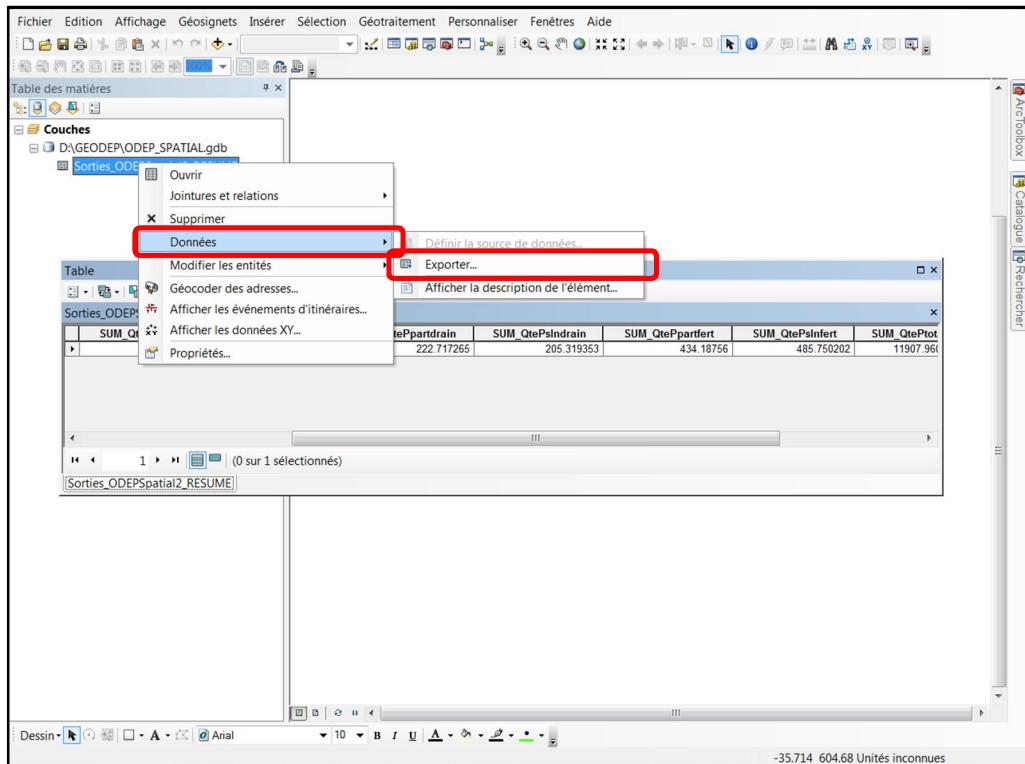


Figure 14. Exportation des tables d'ArcGIS à Excel

- 3- Identifier le nom, le format et la localisation de la nouvelle table et le tour est joué. La table peut maintenant être ouverte à partir d'Excel.

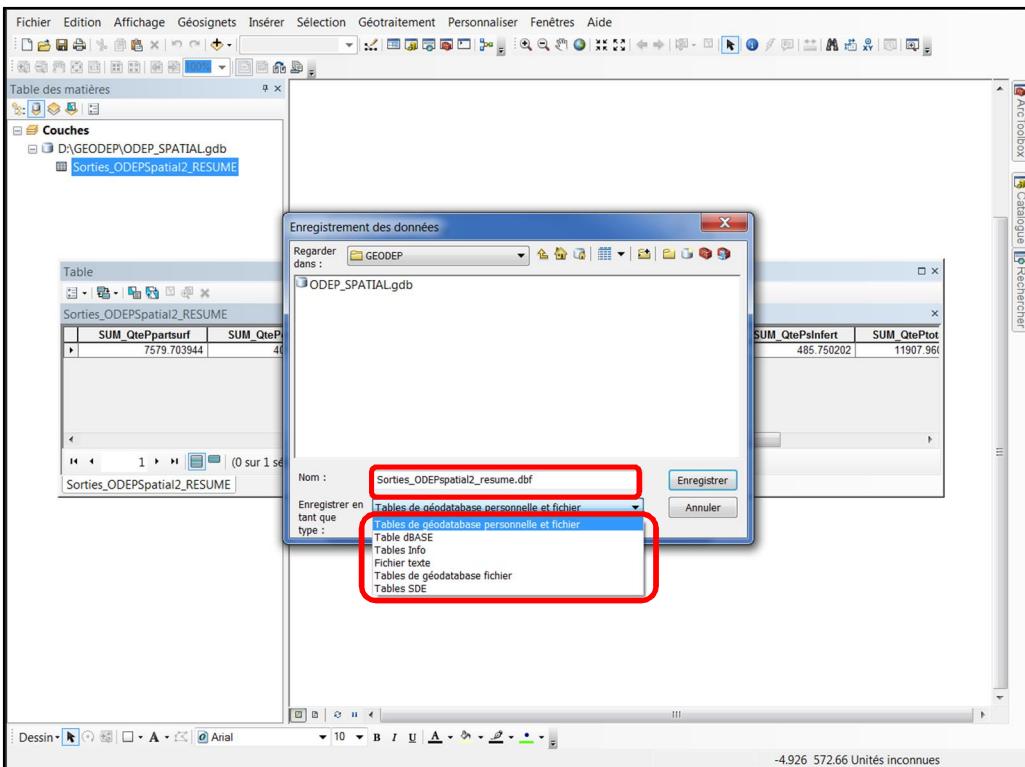


Figure 15. Choix du nom et du format d'exportation de la table

RÉFÉRENCES

- Michaud, A.R., M. Giroux, I. Beaudin, J. Desjardins, G. Gagné, M. Duchemin, J. Deslandes, C. Landry, P. Beaudet et J. Lagacé. 2008. ODEP; un Outil de diagnostic des exportations de phosphore. Projet « Gestion du risque associé aux facteurs source et transport du phosphore des sols cultivés au Québec », réalisé dans le cadre de l'Initiative d'appui aux conseillers agricoles (PIACA-204). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec, Canada.
- Wall, G.J., D.R. Coote, E.A. Pringle et I.J. Shelton (editors). 2002. RUSLE-CAN - Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada : Manuel pour l'évaluation des pertes de sols causées par l'érosion hydrique au Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, No de contribution 02-91, 117 p.
- Williams, J.R. 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. Dans : Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Proceedings of the sediment-yield workshop. 28-30 novembre 1972. ARS-S-40, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, États-Unis.
- Wischmeier, W.H. et D.D. Smith. 1961. A universal equation for predicting rainfall-erosion losses – An aid to conservation farming in humid regions. ARS Special Report. U.S. Dept. of Agric., Agr. Res. Serv., États-Unis, p. 22-66.
- Wischmeier, W.H. et D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 537, 58 p.

ANNEXE 1 : Étapes et équations des différents modules de GEODEP

Préparation des données

Étapes du module :

- 1- Intégration des shapefiles et du modèle numérique de terrain (MNT) des utilisateurs dans la géodatabase de GEODEP et donc transformation des shapefiles et rasters en fichiers géodatabase.
- 2- Définition des valeurs par défaut des bases de données contenues dans la géodatabase GEODEP (c'est-à-dire RegiesCultures, Modul_GrHydro, Amenag_hydroagric). La définition des valeurs par défaut fait en sorte que lorsque des polygones sont ajoutés, les valeurs par défaut de l'ODEP leur sont automatiquement attribuées afin de s'assurer que la plage de valeurs possibles soit respectée. Cela fonctionne lorsqu'un polygone est ajouté ou tracé manuellement en mode édition.
- 3- Les bases de données fournies avec GEODEP sont jointes aux couches de l'utilisateur.
- 4- Une fois les bases de données jointes aux couches des utilisateurs, les valeurs par défaut sont calculées et ajoutées aux couches en question.
 - a. Couv_ass = 0
 - b. Couv_derob = 0
 - c. Drai_Sout = 3
 - d. Drai_surf = 2
 - e. Cond_hydro = 1
 - f. Bande_riv = 1
 - g. Avaloir = 1
 - h. Pmehlich = P_M3 dans la base de données des analyses de sol
(Mun_AnalyseSol95_01)
 - i. SatAl_pc = P_AL_M3 dans la base de données des analyses de sol
(Mun_AnalyseSol95_01)
 - j. Trav_sol =

```
def Trav_sol(CO_CULTG):
    if CO_CULTG == "FOI" or CO_CULTG == "NON":
        return 4
    else:
        return 1
```
 - k. MINP_B =


```
def MINP_B(CO_CULTG, P_M3):
    if CO_CULTG == "MAI" or CO_CULTG == "MAR":
        if P_M3 <= 30 :
            return 20
        elif P_M3 > 30 <= 120 :
            return 20
        else :
            return 0
    else:
        return 0
```
 - l. MINP_V = 0
 - m. FUMP_DOSE =

```

def FUMP_DOSE(CO_CULTG, P_M3, P_AL_M3, AL_M3):
    if CO_CULTG == "FOI" or CO_CULTG== "NON":
        if P_M3 <= 30:
            if AL_M3 < 1100:
                return 27.5
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 33.75
            elif AL_M3 > 1600:
                return 41.25
        elif P_M3 > 30 <= 60:
            if AL_M3 < 1100:
                return 20
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 25
            elif AL_M3 > 1600:
                return 32.5
        elif P_M3 > 60 <=90:
            if AL_M3 < 1100:
                return 20
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 20
            elif AL_M3 > 1600:
                return 26.25
        elif P_M3 > 90 <= 120:
            if AL_M3 < 1100:
                return 12.5
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 12.5
            elif AL_M3 > 1600:
                return 20
        elif P_M3 > 120 <= 150:
            if AL_M3 < 1100:
                return 7.5
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 12.5
            elif AL_M3 > 1600:
                return 12.5
        elif P_M3 > 150 <= 250:
            if AL_M3 < 1100:
                return 0
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 6.25
            elif AL_M3 > 1600:
                return 6.25
        elif P_M3 > 250 :
            return 0
    elif CO_CULTG == "SOY" or CO_CULTG == "CNL":
        if P_AL_M3 <= 2.5:
            return 60
        elif P_AL_M3 >= 2.6 <= 20:
            return 20
        else :
            return 0
    elif CO_CULTG == "AVO" or CO_CULTG == "ORG" or CO_CULTG == "BLE" or CO_CULTG
    == "AUC" or CO_CULTG == "MIX" or CO_CULTG == "PTF":
        if P_M3 <= 30:
            return 70
        elif P_M3 > 30 <= 60:

```

```

        return 50
    elif P_M3 > 60 <=90:
        return 40
    elif P_M3 > 90 <= 120:
        return 30
    elif P_M3 > 120 <= 150:
        return 20
    elif P_M3 > 150 <= 250:
        return 10
    elif P_M3 > 250 :
        return 0
    elif CO_CULTG == "MAI" or CO_CULTG == "MAR":
        if P_M3 <= 30:
            return 55
        if P_M3 > 30 <= 60:
            return 37.5
        if P_M3 > 60 <=90:
            return 22.5
        if P_M3 > 90 <= 120:
            return 12.5
        if P_M3 > 120 <= 150:
            return 25
        if P_M3 > 150 <= 250:
            return 10
        if P_M3 > 250 :
            return 0
        else:
            return 0
    n. FUMP2_DOSE =
def FUMP2_DOSE(CO_CULTG, P_M3, P_AL_M3, AL_M3):
    if CO_CULTG == "FOI" or CO_CULTG == "NON":
        if P_M3 <= 30:
            if AL_M3 < 1100:
                return 27.5
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 33.75
            elif AL_M3 > 1600:
                return 41.25
        elif P_M3 > 30 <= 60:
            if AL_M3 < 1100:
                return 20
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 25
            elif AL_M3 > 1600:
                return 32.5
        elif P_M3 > 60 <=90:
            if AL_M3 < 1100:
                return 20
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 20
            elif AL_M3 > 1600:
                return 26.25
        elif P_M3 > 90 <= 120:
            if AL_M3 < 1100:
                return 12.5

```

```

        elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
            return 12.5
        elif AL_M3 > 1600:
            return 20
        elif P_M3 > 120 <= 150:
            if AL_M3 < 1100:
                return 7.5
            elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                return 12.5
            elif AL_M3 > 1600:
                return 12.5
            elif P_M3 > 150 <= 250:
                if AL_M3 < 1100:
                    return 0
                elif AL_M3 >= 1100 <= 1600:
                    return 6.25
                elif AL_M3 > 1600:
                    return 6.25
                elif P_M3 > 250 :
                    return 0
            else:
                return 0
o. FUMP3_DOSE = 0
p. FUM1_PER = 1
q. FUM1_DELAI =
    def FUM1_DELAI(CO_CULTG):
        if CO_CULTG == "MAI" or CO_CULTG == "MAR":
            return 2
        else :
            return 4
r. FUM2_PER = 2
s. FUM2_DELAI = 4
t. FUM3_PER = 0
u. FUM3_DELAI = 0
v. TER_CO_FOR2 = (Pour la couche écoforestière seulement)
    def TER_CO_FOR2(TER_CO_FOR):
        if TER_CO_FOR == "A" :
            return "FOI"
        elif TER_CO_FOR == "BLE" or TER_CO_FOR == "VFG" :
            return "PTF"
        else :
            return TER_CO_FOR

```

- 5- La couche de la BDCA de l'année précédente est liée à la BDCA de l'année à l'étude.
- 6- La couche de la pédologie est jointe spatialement avec la couche des zones agricoles (ZonesAgric18) contenue dans la géodatabase du projet.
- 7- Le champ CDSolREG est ajouté à la couche pédologique et le numéro de la région et le code du sol dominant sont associés dans ce champ afin de lier la série de sol à une région du Québec.
!REGADM_S_N! & !CD_SOL1!

8- La base de données hydropédologiques de l'ODEP est liée à la couche pédologique par le champ CDSolREG.

9- Le facteur d'érodabilité du sol (Facteur K) est calculé

a. Calcul de la quantité de sable très fin (STF)

```
def STFsC(ATOT, STOT):
    if ATOT > 40:
        return 3.4
    else :
        if STOT > 60 :
            return 15
        else :
            return 6.4
```

```
-----
def STFs2(STFs, STFsC):
    if STFs == None :
        return STFsC
    else :
        return STFs
```

b. Calcul de m (somme des pourcentages de sable très fin et de limon)

!STFs! + !LTOT!

c. Calcul du pourcentage de matière organique

```
def MATORG1(MATORG):
    if MATORG == None :
        return 3
    elif MATORG > 4:
        return 4
    else :
        return MATORG
```

d. Calcul de l'érodabilité (K)

```
import math
def K(LTOT, STFs2, ATOT, MATORG1, STRUCTUREs, PERM, m):
    if LTOT + STFs2 < 70:
        return (2.1*math.pow(((LTOT + STFs2)*(100- ATOT)),1.14)*(math.pow(10,-6))*(12-
MATORG1) + 0.0325*(STRUCTUREs - 2) + 0.025 * (PERM - 3))/7.59
    else:
        if LTOT + STFs2 < 80:
            return (2.1*math.pow(((LTOT + STFs2)*(100- ATOT)),1.14)*(math.pow(10,-6))*(12-
MATORG1) + 0.0325*(STRUCTUREs - 2) + 0.025 * (PERM - 3)*(1-(0.2*((LTOT+STFs2)-
70)/10)))/7.59
        else:
            if LTOT + STFs2 >= 80:
                return 0.8*(2.1*math.pow(((LTOT + STFs2)*(100- ATOT)),1.14)*(math.pow(10,-
6))*(12-MATORG1) + 0.0325*(STRUCTUREs - 2) + 0.025 * (PERM - 3))/7.59
            else :
                return None
```

URH

Étapes du module :

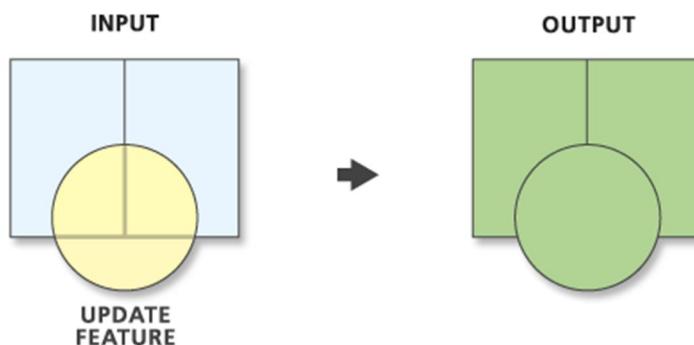
- 1- Mise à jour de la carte écoforestière avec la BDCA (comprenant les 2 années : celle à l'étude et l'année précédente) permettant de créer un couche d'utilisation du territoire.

Mettre à jour (Analyse)

Récapitulatif

Calcule une intersection géométrique des **Entités en entrée** et des **Entités de remplacement**. Les attributs et la géométrie des entités en entrée sont mis à jour par les entités de remplacement dans la classe d'entités en sortie.

Illustration



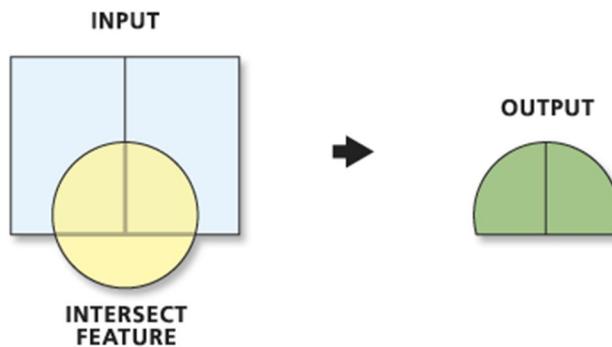
- 2- Intersection entre les couches d'utilisation du territoire, de la pédologie et des sous-bassins pour former les unités de réponse hydrologique.

Intersecter (Analyse)

Récapitulatif

Calcule une intersection géométrique des entités en entrée. Les entités ou les portions des entités superposées dans toutes les couches et/ou classes d'entités sont enregistrées dans la classe d'entités en sortie.

Illustration



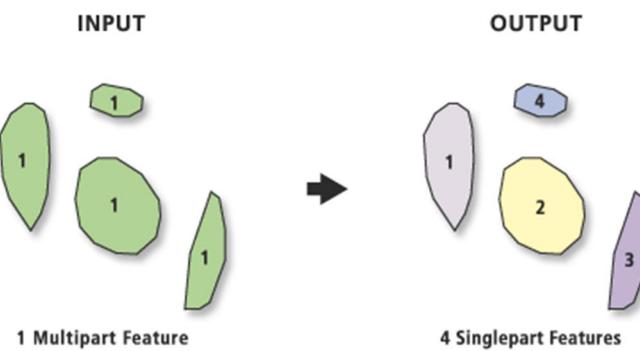
- 3- Une fois les URH créés, l'outil «Multi-parties vers une partie» est utilisé pour s'assurer que des polygones non concomitant mais possédant les mêmes caractéristiques ne soient pas unis et identifiés comme étant le même polygone.

Multi-parties vers une partie (Gestion des données)

Récapitulatif

Crée une classe d'entités qui contient des entités en une partie générée en séparant des entités multi-parties en entrée.

Illustration



- 4- Une nouvelle couche dans la géodatabase est créée. Elle se nomme URH_TOT.

LS de MUSLE

Étapes du module

- 1- L'hydrographie linéaire et l'hydrographie surfacique en format shapefile de l'utilisateur sont importées à l'intérieur de la géodatabase GEODEP.
- 2- Une zone tampon (buffer) d'un mètre est créée autour de l'hydrographie linéaire pour former un polygone et pour qu'elle soit plus représentative de la réalité terrain.
- 3- L'hydrographie surfacique est combinée à cette nouvelle hydrographie avec zone tampon pour créer une nouvelle couche polygonale d'hydrographie.
- 4- Un champ est ajouté à la couche d'hydrographie. Il se nomme «valeur».
- 5- Avec la «calculatrice de champ» d'ArcGIS, la valeur -5 est ajoutée à ce champ, c'est la profondeur d'encavement de l'hydrographie.
- 6- L'hydrographie est convertie en raster.
- 7- Le raster d'hydrographie est reclassifié pour convertir les valeurs de «NoData» en 0.
- 8- Dans la «calculatrice raster», le MNT est additionné au raster de l'hydrographie. Cela fait en sorte d'encaver le cours d'eau dans le MNT, ce qui permet ainsi à l'eau de s'écouler au bon endroit.
- 9- Remplissage du MNT. (Dans ArcGIS, dans l'extension «Spatial Analyst», il y a un module sur la réalisation d'analyse du terrain. Grossièrement, ce module permet d'évaluer l'écoulement de l'eau à partir d'un MNT et de délimiter des bassins versants. Le remplissage du MNT est la première étape de ce module et permet d'éliminer des artefacts (ou cuvettes) dans le MNT qui empêcheraient l'écoulement de l'eau).
- 10- Une fois le remplissage du MNT réalisé, la direction du flux peut être évaluée, le modèle calcule la direction de l'écoulement pour chaque pixel en fonction de la valeur d'élévation des pixels voisins.
- 11- Une fois la direction de l'écoulement identifiée, il est possible de calculer l'accumulation du flux pour chaque pixel c'est-à-dire le nombre de pixel qui se jette dans un autre.
- 12- Une fois l'accumulation de flux calculée, un seuil est identifié afin d'éliminer les valeurs trop élevées, c'est-à-dire les cours d'eau en tant que tels.
- 13- Le raster d'accumulation de flux est ensuite multiplié par la résolution du MNT, ce qui permet d'obtenir des valeurs non plus en nombre de pixel mais bien en distances réelles soit en mètre dans ce cas-ci. Cette nouvelle couche créée se nomme FlowAccArea.
- 14- Des statistiques zonales sur le FlowAccArea sont calculées par URH. La valeur moyenne par URH du FlowAccArea est ajoutée à un nouveau champ portant le nom L_moy.

15- À partir du MNT, une matrice des pentes est créée avec l'outil «Pente» d'ArcGIS. Les valeurs de pente sont en pourcentage.

16- Des statistiques zonales sur les pentes sont calculées par URH. La valeur moyenne par URH de la pente est ajoutée à un nouveau champ portant le nom PentePC_moy.

Hydrologie

Étapes du module :

1- Ajout et calcul du champ Modif_GHDRAIN (modification à apporter au groupe hydrologique en fonction de la valeur du champ drai_sout, c'est-à-dire aménagement du drainage souterrain systématique, partiel ou absent).

```
def Modif_GHDRAIN(Drai_sout):
    if Drai_sout == 2:
        return -1
    elif Drai_sout == 1:
        return -2
    elif Drai_sout == 3:
        return 0
    else:
        return 0
```

2- Ajout et calcul du champ Gr_HydroDRAIN (addition de la valeur du groupe hydrologique à Modif_GHDRAIN qui permet d'augmenter ou de diminuer le groupe hydrologique de 1).

```
def Gr_hydroDRAIN(Drai_Sout, GR_HYDROs, Modif_GHDRAIN):
    if Drai_Sout == 1:
        return GR_HYDROs + Modif_GHDRAIN
    elif Drai_Sout == 2:
        return GR_HYDROs + Modif_GHDRAIN
    elif Drai_Sout == 3:
        return GR_HYDROs + Modif_GHDRAIN
    else:
        return GR_HYDROs
```

3- Ajout et calcul du champ Modif_GrHySURF (modification à apporter au groupe hydrologique en fonction de la valeur du champ drai_surf, c'est-à-dire la classe d'écoulement de surface bonne, moyenne ou mauvaise).

```
def Modif_GrHySURF(Drai_surf, GR_HYDROs):
    if Drai_surf == 3:
        return 1
    elif Drai_surf == 1:
        return -1
    elif Drai_surf == 2:
        return 0
    else:
        return 0
```

4- Ajout et calcul du champ Modif_GrHyPROFIL (modification à apporter au groupe hydrologique en fonction de la valeur du champ Cond_hydro, c'est-à-dire la condition du profil cultural bonne, présence de zones à risques ou dominance de zones à risque).

```
def Modif_GrHyPROFIL(Cond_hydro, GR_HYDROs):
    if Cond_hydro == 2:
```

```

    return 1
elif Cond_hydro == 3:
    return 2
elif Cond_hydro == 1:
    return 0
else:
    return 0

```

- 5- Ajout et calcul du champ Gr_hydroF (addition de la valeur du groupe hydrologique à Modif_GrHySurf et ModifGrHyProfil ce qui permet d'augmenter ou de diminuer le groupe hydrologique).

!GR_HYDROS! + !Modif_GrHySURF! + !Modif_GrHyPROFIL!

- 6- Ajout et calcul du champ Gr_hydroF2 (pour limiter le groupe hydrologique à la valeur 9. Si la valeur est supérieure à 9, on utilise 9).

```

def Gr_hydroF2(Gr_hydroF):
    if Gr_hydroF > 9:
        return 9
    else:
        return Gr_hydroF

```

- 7- Ajout et calcul du champ Qsurf (calcul du ruissellement en fonction de l'utilisation du territoire et de Gr_hydroDRAIN).

```

import math
def Qsurf(Util_terr, Gr_hydroDRAIN):
    if Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR":
        return 4.8571 * math.pow(Gr_hydroDRAIN, 2) - 12.171 * Gr_hydroDRAIN + 66.77
    elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        return 3.4175 * math.pow(Gr_hydroDRAIN, 2) - 7.9543 * Gr_hydroDRAIN + 30.76
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL":
        return 4.9858 * math.pow(Gr_hydroDRAIN, 2) - 13.82 * Gr_hydroDRAIN + 66.88
    elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF":
        return 4.6351 * math.pow(Gr_hydroDRAIN, 2) - 11.73 * Gr_hydroDRAIN + 62.95
    else :
        return 3.4175 * math.pow(Gr_hydroDRAIN, 2) - 7.9543 * Gr_hydroDRAIN + 30.76
    (ATTENTION À REVOIR POTENTIELLEMENT Car Util_terr autres que culture = même équation que FOIN)

```

- 8- Ajout et calcul du champ Qsurf2pre (addition et soustraction de valeur à Qsurf en fonction de l'utilisation du territoire, du Gr_hydroDRAIN, du drainage de surface, et de la condition hydrologique du profil cultural).

```

def Qsurf2pre(Util_terr, Gr_hydroDRAIN, Cond_hydro, Drai_surf, Qsurf):
    if Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and Gr_hydroDRAIN == 1:
        return 0 + 0 + Qsurf
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and Gr_hydroDRAIN > 1:
        return 0 - 56.2 + Qsurf
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 2:
        return 0 + 0 + Qsurf
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 3:
        return 0 + 56.2 + Qsurf
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 1 and Gr_hydroDRAIN == 1:
        return 28.1 + 0 + Qsurf

```

```

elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 28.1 - 56.2 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 2:
    return 28.1 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 3:
    return 28.1 + 56.2 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN == 1:
    return 56.2 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 56.2 - 56.2 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 2:
    return 56.2 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 3:
    return 56.2 + 56.2 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN == 1:
    return 0 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 0 - 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 2:
    return 0 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 3:
    return 0 + 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN == 1:
    return 26.2 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 26.2 - 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 2:
    return 26.2 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 2 and Drai_surf == 3:
    return 26.2 + 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN == 1:
    return 52.4 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 52.4 - 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 2:
    return 52.4 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 3:
    return 52.4 + 52.4 + Qsurf
elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN == 1:
    return 0 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 1 and
Gr_hydroDRAIN > 1:
    return 0 - 55 + Qsurf
elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 2:
    return 0 + 0 + Qsurf
elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Cond_hydro == 1 and Drai_surf == 3:
    return 0 + 55 + Qsurf

```



```

        return 53.4 + 0 + Qsurf
    elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
    Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" and Cond_hydro == 3 and Drai_surf == 3:
        return 53.4 + 53.4 + Qsurf

```

- 9- Ajout et calcul du champ Qsurf2 (petites modifications à apporter si certaines valeurs de Qsurf2pre sont négatives).

```

def Qsurf2(Qsurf2pre, Qsurf):
    if Qsurf2pre < 0:
        return -26.2 + Qsurf
    else :
        return Qsurf2pre

```

- 10- Ajout et calcul du champ Qsurf4 (modification à Qsurf2 en fonction de l'utilisation du territoire et des groupes hydrologiques).

```

import math
def Qsurf4(Util_terr, GR_HYDROs, Qsurf, Qsurf2):
    if Qsurf2 - Qsurf < 0 :
        if Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR":
            return 4.8571 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 12.171 * (GR_HYDROs - 2) + 66.77
        elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
            return 3.4175 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 7.9543 * (GR_HYDROs - 2) + 30.76
        elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL":
            return 4.9858 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 13.82 * (GR_HYDROs - 2) + 66.88
        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF":
            return 4.6351 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 11.73 * (GR_HYDROs - 2) + 62.95
        else :
            return 4.8571 * math.pow((GR_HYDROs - 2) + 62.95, 2) - 12.171 * (GR_HYDROs - 2) + 66.771
    else:
        if Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR":
            return (4.8571 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 12.171 * (GR_HYDROs - 2) + 66.77) + (Qsurf2 -
Qsurf)
        elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
            return (3.4175 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 7.9543 * (GR_HYDROs - 2) + 30.76) + (Qsurf2 -
Qsurf)
        elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL":
            return (4.9858 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 13.82 * (GR_HYDROs - 2) + 66.88) + (Qsurf2 -
Qsurf)
        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF":
            return (4.6351 * math.pow((GR_HYDROs - 2), 2) - 11.73 * (GR_HYDROs - 2) + 62.95) + (Qsurf2 -
Qsurf)

```

- 11- Jointure spatiale de SousRegionsAgric27 (permet d'identifier la région où se situe la zone d'étude et de pouvoir ensuite appliquer les facteurs de pondération agroclimatiques).

- 12- Ajout et calcul du champ Qsurf3 (modification de Qsurf2 en fonction des facteurs agroclimatiques).

```

import math
def Qsurf3(Qsurf2, FactQtot, Factruissm):
    if Qsurf2 < 25:
        return 25
    else :
        return Qsurf2 * FactQtot * Factruissm

```

13- Ajout et calcul du champ Qsout (Évaluation du drainage souterrain en fonction de l'utilisation du territoire, des groupes hydrologiques, du drainage souterrain, de Qsurf2 et de Qsurf4).

```

import math
def Qsout(Drai_Sout, Util_terr, GR_HYDROs, Qsurf2, Qsurf4):
    if Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR":
        if Drai_Sout < 3:
            return (2030.2 / math.pow(Qsurf2, 0.4124)) / Drai_Sout
        else:
            if GR_HYDROs == 3 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.25
            elif GR_HYDROs == 5 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.2
            else :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.15
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL":
        if Drai_Sout < 3 :
            return (2030.2 / math.pow(Qsurf2, 0.4124)) / Drai_Sout
        else :
            if GR_HYDROs == 3 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.25
            elif GR_HYDROs == 5 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.2
            else :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.15
    elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF":
        if Drai_Sout < 3:
            return (2519.1 / math.pow(Qsurf2, 0.4936)) / Drai_Sout
        else:
            if GR_HYDROs == 3 :
                return (2519.1 / math.pow(Qsurf4, 0.4936))* 0.25
            elif GR_HYDROs == 5 :
                return (2519.1 / math.pow(Qsurf4, 0.4936)) * 0.2
            else :
                return (2519.1 / math.pow(Qsurf4, 0.4936)) * 0.15
    elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        if Drai_Sout < 3:
            return (1483.6 / math.pow(Qsurf2, 0.4331)) / Drai_Sout
        else:
            if GR_HYDROs == 3 :
                return (1483.6 / math.pow(Qsurf4, 0.4331)) * 0.25
            elif GR_HYDROs == 5 :
                return (1483.6 / math.pow(Qsurf4, 0.4331)) * 0.2
            else :
                return (1483.6 / math.pow(Qsurf4, 0.4331)) * 0.15
    else :
        if Drai_Sout < 3:
            return (2030.2 / math.pow(Qsurf2, 0.4124)) / Drai_Sout
        else:
            if GR_HYDROs == 3 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124))* 0.25
            elif GR_HYDROs == 5 :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.2
            else :
                return (2030.2 / math.pow(Qsurf4, 0.4124)) * 0.15

```

14- Ajout et calcul du champ Qsout2 (modification de Qsout en fonction des facteurs de pondération climatique).

```
import math
def Qsout2(Qsout, FactQtot):
    if Qsout * FactQtot < 300 :
        return Qsout * FactQtot
    else :
        return 300
```

15- Ajout et calcul du champ FactCa (facteur de culture utilisé dans le calcul de MUSLE, partie 1)

```
def FactCa (Trav_sol, Couv_ass, Couv_derob, Util_terr) :
    if Couv_ass == 1 or Couv_derob == 1 :
        return 0.15
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" :
        if Trav_sol == 1:
            return 0.45
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.30
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.20
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.15
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" :
        if Trav_sol == 1:
            return 0.55
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.50
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.30
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.25
    elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" :
        if Trav_sol == 1:
            return 0.30
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.20
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.15
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.10
    elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        return 0.03
```

16- Ajout et calcul du champ FactC (facteur de culture utilisé dans le calcul de MUSLE, partie 2 : valeur finale intégrant la culture antécédente).

```
def FactC (FactCa, Util_terr, Cult_Ante) :
    if Cult_Ante == "FOI" or Cult_Ante == "NON":
        return FactCa*0.5
    elif Cult_Ante == "SOY":
        return FactCa*1.2
    else :
        return FactCa*1
```

17- Ajout et calcul du champ Param_a (facteur d'ajustement utilisé dans le calcul de MUSLE, voir le guide de l'utilisateur de l'ODEP pour davantage de détails).

```

def Param_a(Trav_sol, Couv_ass, Couv_derob, Util_terr):
    if Couv_ass == 1 or Couv_derob == 1:
        return 0.5236
    elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        return 0.5883
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR":
        if Trav_sol == 1:
            return 0.4175
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.5158
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.5326
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.5347
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL":
        if Trav_sol == 1:
            return 0.4455
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.5316
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.5398
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.5404
    elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF":
        if Trav_sol == 1:
            return 0.4558
        elif Trav_sol == 2:
            return 0.4684
        elif Trav_sol == 3:
            return 0.447
        elif Trav_sol == 4:
            return 0.5163

```

18- Ajout et calcul du champ Param_b (facteur d'ajustement utilisé dans le calcul de MUSLE,
voir le guide de l'utilisateur de l'ODEP pour davantage de détails)

```

def Param_b(Trav_sol, Couv_ass, Couv_derob, Util_terr):
    if Couv_ass == 1 or Couv_derob == 1:
        return -14.892
    elif Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        return -13.637
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Trav_sol == 1:
        return -9.6319
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Trav_sol == 2:
        return -15.61
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Trav_sol == 3:
        return -19.989
    elif Util_terr == "MAI" or Util_terr == "MAR" and Trav_sol == 4:
        return -20.249
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Trav_sol == 1:
        return -12.89
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Trav_sol == 2:
        return -17.398
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Trav_sol == 3:
        return -21.345
    elif Util_terr == "SOY" or Util_terr == "CNL" and Trav_sol == 4:
        return -21.377

```

```

        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" and Trav_sol == 1:
            return -12.863
        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" and Trav_sol == 2:
            return -12.39
        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" and Trav_sol == 3:
            return -12.576
        elif Util_terr == "AVO" or Util_terr == "ORG" or Util_terr == "BLE" or Util_terr == "AUC" or
        Util_terr == "MIX" or Util_terr == "PTF" and Trav_sol == 4:
            return -14.659

```

- 19- Ajout et calcul du champ FactK (Facteur d'érodabilité utilisé dans le calcul de MUSLE, modification à la valeur d'érodabilité calculé dans le module de Préparation des données pour appliquer une valeur de 0.002 si le facteur K n'a pas de valeur).

```

def FactK (K) :
    if K ==None :
        return 0.002
    else :
        return K

```

- 20- Jointure de la table ZStatsLS du module LS_de_MUSLE qui contient le L moyen par URH.

- 21- Jointure de la table ZStatsPente du module LS_de_MUSLE qui contient la pente moyenne par URH.

- 22- Ajout et calcul du champ LS1 qui utilise les infos de la longueur et de la pente moyennes (le calcul de LS est divisé en plusieurs parties : LSa, LSb, LSc, LSd, LS1).

```

def LSa(L_moy):
    return (L_moy*0.6/22.1)

import math
def LSb (PentePC_moy):
    return 0.6*(1-math.exp(-35.835*PentePC_moy/100))

import math
def LSc(PentePC_moy):
    return 1- math.pow(PentePC_moy/100, 2)

import math
def LSd (LSc):
    return 0.006541*LSc+(4.56*math.pow(LSc, 0.5)/100+0.065)

import math
def LS1 (L_moy, PentePC_moy, LSa, LSb, LSd):
    if L_moy == None or PentePC_moy == None :
        return -1
    else :
        return math.pow(LSa, LSb)*(LSd)

```

- 23- Ajout et calcul du champ Sed (qui est l'équation complète de l'exportation annuelle de sédiments selon MUSLE).

```

def Sed (Param_a, Param_b, FactK, LS1, FactC, Qsurf3):
    if (Param_a * Qsurf3 + Param_b) * FactK * LS1 * FactC * 7.59 < 0 :
        return 0.001
    else :
        return (Param_a * Qsurf3 + Param_b) * FactK * LS1 * FactC * 7.59

```

- 24- Ajout et calcul du champ Bande_riv2 (modification apportée à la valeur du champ Bande_riv si celle-ci est supérieure à 1).

```
def Bande_riv2 (Bande_riv):
    if Bande_riv > 1:
        return 1-(0.09*(Bande_riv -1)/2)
    else:
        return 1
```

- 25- Ajout et calcul du champ Avaloir2 (modification apportée à la valeur du champ Avaloir si celle-ci est supérieure à 1).

```
def Avaloir2 (Avaloir):
    if Avaloir > 1:
        return 1-(0.145*(Avaloir -1)/2)
    else:
        return 1
```

- 26- Ajout et calcul du champ Sed2 (qui utilise les infos sur la présence de bandes riveraines et d'avaloirs pour modifier la quantité de sédiments exportés).

```
!Bande_riv2! * !Avaloir2! * !Sed! * 1000
```

- 27- Ajout et calcul du champ ConMES (Sédiments divisé par le ruissellement et multiplication par des multiples de 100 pour modifier les unités).

```
!Sed! * 1000 / !Qsurf4! * 100
```

- 28- Transformation de la couche complétée en une nouvelle couche portant le nom URH_P.

Phosphore

Étapes du module :

- 1- Ajout et calcul du champ FactE1 (qui est la première partie du facteur d'enrichissement en P des sédiments).

```
(!Sed! *1000 / !Qsurf4! *100)
```

- 2- Ajout et calcul du champ FactE (qui est la seconde partie du facteur d'enrichissement en P des sédiments).

```
import math
def FactE (FactE1):
    return 7.2511 /math.pow(FactE1, 0.25)
```

- 3- Ajout et calcul du champ Ptotnaturel (fonction du % d'argile et de sable).

```
def PTOTnaturel(ATOT, STOT):
    if ATOT > 40:
        return 713
    elif ATOT <= 40 and ATOT < (85-STOT):
        return 537
    else :
        return 634
```

- 4- Ajout et calcul du champ Ptotauctuel (modulation du Ptotnaturel en fonction de la teneur en P-mehlich du sol).

```
def PTOTauctuel (P_naturel, PTOTnaturel, Pmehlich):
    if P_naturel == None :
        if PTOTnaturel == None:
            return 662
        else :
```

```

        return PTOTnaturel
    else :
        return P_naturel + (2.3 *((Pmehlich/2.24)-20))

5- Ajout et calcul du champ Ppartgha (P particulaire en grammes par ha).
    !PTOTactuel! * !FactE! * !Sed!

6- Ajout et calcul du champ Ppartsurf (P particulaire surfacique – provenant du
ruissellement).
    (!Bande_riv2! * !Avaloir2! * !Ppartgha!) / 1000

7- Ajout et calcul du champ Pdissurf (P dissous surfacique – provenant du ruissellement)
(calcul en fonction du pourcentage de saturation en Al et de Qsurf3).
    (50 + !SatAl_pc! *17.8)* !Qsurf3! /100000

8- Ajout et calcul du champ CPslndrain (Concentrations moyennes de P dissous dans l'eau
des drains) (calcul en fonction des cultures et de la texture du sol : % d'argile et % de
sable).
def CPslndrain (Util_terr, ATOT, STOT):
    if Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        if ATOT > 30:
            return 38
        else:
            if ATOT > 20 and STOT < 70:
                return 50
            else :
                if STOT > 70 :
                    return 6
                else :
                    return 62
            else :
                if ATOT > 30:
                    return 44
                else:
                    if ATOT > 20 and STOT < 70:
                        return 51
                    else :
                        if STOT > 70 :
                            return 6
                        else :
                            return 57
    else :
        if ATOT > 30:
            return 44
        else:
            if ATOT > 20 and STOT < 70:
                return 51
            else :
                if STOT > 70 :
                    return 6
                else :
                    return 57

9- Ajout et calcul du champ Pdissdrain (charge de P dissous dans l'eau des drains).
def PdissDRAIN (Qsout2, CPslndrain):
    if CPslndrain == None :
        return 46 * Qsout2
    else :
        return CPslndrain * Qsout2 / 100000

10- Ajout et calcul du champ CPPartdrain (concentrations moyennes de P particulaire dans
l'eau des drains) (Calcul en fonction des cultures et de la texture du sol : % d'argile et %
de sable).
def CPPartdrain (Util_terr, ATOT, STOT):
    if Util_terr == "FOI" or "NON":
        if ATOT > 30:
            return 125
        else:
            if ATOT > 20 and STOT < 70:

```

```

        return 78
    else :
        if STOT > 70 :
            return 10
        else :
            return 38
    else :
        if ATOT > 30:
            return 210
        else:
            if ATOT > 20 and STOT < 70:
                return 120
            else :
                if STOT > 70 :
                    return 10
                else :
                    return 38

```

11- Ajout et calcul du champ Pparticdrain (charge de P particulaire dans l'eau des drains).

```

def PparticDRAIN (Qsout2, CPpartdrain):
    if CPpartdrain == None :
        return 230 * Qsout2
    else :
        return CPpartdrain * Qsout2 / 100000

```

12- Ajout et calcul du champ CPreactdrain (concentrations moyennes de P réactif dissous dans l'eau des drains) (calcul en fonction des cultures et de la texture du sol : % d'argile et % de sable).

```

def CPreactdrain (Util_terr, ATOT, STOT):
    if Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON":
        if ATOT > 30:
            return 25
        else:
            if ATOT > 20 and STOT <= 70:
                return 40
            else :
                if STOT > 70 :
                    return 4
                else :
                    return 54
    else :
        if ATOT > 30:
            return 30
        else:
            if ATOT > 20 and STOT <= 70:
                return 42
            else :
                if STOT > 70 :
                    return 4
                else :
                    return 54

```

13- Ajout et calcul du champ Preactdrain (charge de P réactif dissous dans l'eau des drains).

```

def PreactDRAIN (Qsout2, CPreactdrain):
    if CPreactdrain == None :
        return 46 * Qsout2
    else :
        return CPreactdrain * Qsout2 / 100

```

14- Ajout et calcul du champ Eng_min (qui représente l'enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 mm du sol en engrais minéraux, ce calcul tient compte de la culture, du taux d'épandage, du facteur d'incorporation et du facteur de période).

```
def Eng_min(MINP_B, MINP_V, Util_terr, Trav_sol):
    if Util_terr == "FOI" or Util_terr == "NON" and MINP_B == 0 and MINP_V == 0:
        return (MINP_B * 3.077 * 0.25 / 2.3) + (MINP_V * 3.077 / 2.3) * 0.75
    elif Util_terr != "FOI" or Util_terr != "NON" and Trav_sol == 4:
        return (MINP_B * 3.077 * 0.25 / 2.3) + (MINP_V * 3.077 / 2.3) * 1
    elif Util_terr != "FOI" or Util_terr == "NON" and Trav_Sol != 4:
        return (MINP_B * 3.077 * 0.25 / 2.3) + (MINP_V * 3.077 / 2.3) * 0.25
```

15- Ajout et calcul du champ Eng_fermD1 (qui représente l'enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 mm du sol en engrais de ferme pour la première dose, ce calcul tient compte de la culture, du taux d'épandage, du facteur d'incorporation et du facteur de période).

```
def Eng_fermD1(FumP_dose, Fum1_delai, Fum1_per, FumP2_dose, Fum2_delai, Fum2_per,
FumP3_dose, Fum3_delai, Fum3_per):
    if FumP_dose == 0:
        return 0
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 0 and Fum1_per == 0:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 1 and Fum1_per == 0:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 2 and Fum1_per == 0:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 3 and Fum1_per == 0:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 4 and Fum1_per == 0:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 0 and Fum1_per == 1:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 1 and Fum1_per == 1:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 2 and Fum1_per == 1:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 3 and Fum1_per == 1:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 4 and Fum1_per == 1:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 0 and Fum1_per == 2:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 1 and Fum1_per == 2:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 2 and Fum1_per == 2:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 3 and Fum1_per == 2:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 4 and Fum1_per == 2:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 0 and Fum1_per == 3:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 1 and Fum1_per == 3:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 2 and Fum1_per == 3:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 3 and Fum1_per == 3:
```

```

        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 4 and Fum1_per == 3:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 0 and Fum1_per == 4:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 1 and Fum1_per == 4:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 2 and Fum1_per == 4:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 3 and Fum1_per == 4:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP_dose != 0 and Fum1_delai == 4 and Fum1_per == 4:
        return FumP_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1

```

- 16- Ajout et calcul du champ Eng_fermD2 (qui représente l'enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 mm du sol en engrais de ferme pour la deuxième dose, ce calcul tient compte de la culture, du taux d'épandage, du facteur d'incorporation et du facteur de période).

```

def Eng_fermD2(FumP_dose, Fum1_delai, Fum1_per, FumP2_dose, Fum2_delai, Fum2_per,
FumP3_dose, Fum3_delai, Fum3_per):
    if FumP2_dose == 0:
        return 0
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 0 and Fum2_per == 0:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 1 and Fum2_per == 0:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 2 and Fum2_per == 0:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 3 and Fum2_per == 0:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 4 and Fum2_per == 0:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 0 and Fum2_per == 1:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 1 and Fum2_per == 1:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 2 and Fum2_per == 1:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 3 and Fum2_per == 1:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 4 and Fum2_per == 1:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 0 and Fum2_per == 2:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 1 and Fum2_per == 2:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 2 and Fum2_per == 2:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 3 and Fum2_per == 2:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 4 and Fum2_per == 2:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 0 and Fum2_per == 3:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 1 and Fum2_per == 3:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 2 and Fum2_per == 3:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5

```

```

        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 3 and Fum2_per == 3:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 4 and Fum2_per == 3:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 0 and Fum2_per == 4:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 1 and Fum2_per == 4:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 2 and Fum2_per == 4:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 3 and Fum2_per == 4:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP2_dose != 0 and Fum2_delai == 4 and Fum2_per == 4:
        return FumP2_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1

```

17- Ajout et calcul du champ Eng_fermD3 (qui représente l'enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 mm du sol en engrais de ferme pour la troisième dose, ce calcul tient compte de la culture, du taux d'épandage, du facteur d'incorporation et du facteur de période).

```

def Eng_fermD3(FumP_dose, Fum1_delai, Fum1_per, FumP2_dose, Fum2_delai, Fum2_per,
FumP3_dose, Fum3_delai, Fum3_per):
    if FumP3_dose == 0:
        return 0
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 0 and Fum3_per == 0:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 1 and Fum3_per == 0:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 2 and Fum3_per == 0:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 3 and Fum3_per == 0:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 4 and Fum3_per == 0:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 0 and Fum3_per == 1:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 1 and Fum3_per == 1:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 2 and Fum3_per == 1:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 3 and Fum3_per == 1:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 4 and Fum3_per == 1:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 0 and Fum3_per == 2:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 1 and Fum3_per == 2:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 2 and Fum3_per == 2:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 3 and Fum3_per == 2:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 4 and Fum3_per == 2:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 0 and Fum3_per == 3:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 1 and Fum3_per == 3:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5

```

```

        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 2 and Fum3_per == 3:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 3 and Fum3_per == 3:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 4 and Fum3_per == 3:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 0.5
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 0 and Fum3_per == 4:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 1 and Fum3_per == 4:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.25 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 2 and Fum3_per == 4:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 0.5 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 3 and Fum3_per == 4:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1
    elif FumP3_dose != 0 and Fum3_delai == 4 and Fum3_per == 4:
        return FumP3_dose * 3.077 / 2.3 * 1 * 1

```

- 18- Ajout et calcul du champ Eng_ferm (qui représente l'enrichissement en P-mehlich 3 des premiers 10 mm du sol en engrais de ferme pour l'ensemble des doses, ce calcul est une addition des dose 1, 2 et 3 en engrais de ferme).

```
!Eng_fermD1! + !Eng_fermD2! + !Eng_fermD3!
```

- 19- Ajout et calcul du champ Ptotactuel2 (modulation du Ptotnaturel en fonction de la teneur en P-mehlich du sol et de la fertilisation).

```

def Ptotactuel2 (P_naturel, PTOTnaturel, Pmehlich, Eng_ferm, Eng_min):
    if P_naturel == 0:
        if PTOTnaturel == 0:
            return 662
        else :
            return PTOTnaturel
    else :
        if Eng_min == 0 and Eng_ferm == 0:
            return P_naturel + (2.3 *(((Pmehlich+0+0)/2.24)-20))
        elif Eng_min == 0 and Eng_ferm != 0:
            return P_naturel + (2.3 *(((Pmehlich+0+Eng_ferm)/2.24)-20))
        elif Eng_min != 0 and Eng_ferm == 0:
            return P_naturel + (2.3 *(((Pmehlich+Eng_min+0)/2.24)-20))
        elif Eng_min != 0 and Eng_ferm != 0:
            return P_naturel + (2.3 *(((Pmehlich+Eng_min+Eng_ferm)/2.24)-20))

```

- 20- Ajout et calcul du champ Pparthafert (multiplication du Ptotactuel2 par le facteur d'enrichissement, les sédiments et la charge en P particulaire).

```
!Ptotactuel2! * !FactE! * !Sed! - !Ppartgha!
```

- 21- Ajout et calcul du champ Ppartfert (modulation du Pparthafert en fonction de la présence de bandes riveraines et d'avaloirs).

```
!Bande_riv2! * !Avaloir2! * !Pparthafert! / 1000
```

- 22- Ajout et calcul du champ TotPm3 (modulation du P-mehlich 3 en fonction de la fertilisation : ajout de Eng_min et de Eng_ferm à la valeur de P-mehlich 3).

```

def TotPm3(Eng_min, Eng_ferm, Pmehlich):
    if Eng_min != 0 and Eng_ferm != 0:
        return Pmehlich+Eng_min+Eng_ferm
    elif Eng_min != 0 and Eng_ferm == 0:
        return Pmehlich+Eng_min+0
    elif Eng_min == 0 and Eng_ferm != 0:
        return Pmehlich+0+Eng_ferm

```

```

else :
    return Pmehlich+0+0

```

- 23- Ajout et calcul du champ TotSatAl (modulation de la saturation du sol en Al en fonction de la teneur en P-mehlich du sol et de TotPm3).

```

!TotPm3! / (!Pmehlich! *100 / !SatAl_pc!) * 100

```

- 24- Ajout et calcul du champ Pslnsurffert (modulation du Pdissurf (P dissous surfacique) en fonction de TotSatAl et de Qsurf3).

```

def Pslnsurffert(TOTSatAl, Pdissurf, Qsurf3):
    if (((50 + 17.8 * TOTSatAl) * Qsurf3/100) - Pdissurf * 1000) < 0:
        return 0
    else :
        return (((50 + 17.8 * TOTSatAl) * Qsurf3/100) - (Pdissurf * 1000)) / 1000

```

- 25- Ajout et calcul du champ Preactsurf (P réactif surfacique – provenant du ruissellement).

```

(40 + 17.1 * !TOTSatAl!) * !Qsurf4! / 100

```

- 26- Ajout et calcul du champ Pttotal (addition de Ppartsurf, de Pdissurf, de Pparticdrain, de Pdissdrain, de Ppartfert, et de Pslnsurffert).

```

!Ppartsurf! + !PdissSURF! + !PparticDRAIN! + !PdissDRAIN! + !Ppartfert! + !Pslnsurffert!

```

- 27- Ajout et calcul du champ PttotalTOUT (paramètre non inclus dans l'ODEP, ajout fait à GEODEP pour considérer les superficies non agricoles, c'est-à-dire les forêts, les milieux urbains, les milieux humides, les carrières, etc. (une valeur de P est associée à différentes utilisations du territoire, ces valeurs proviennent du rapport du groupe SM – Aménatech inc. remis en décembre 2009 à la MRC du Memphrémagog et ayant comme titre : Modélisation du transport du phosphore sur l'ensemble du bassin versant du lac Memphrémagog)).

```

def PTotallTOUT(PTotal, Util_terr):
    if Util_terr == "AER" or Util_terr == "CEX" or Util_terr == "CHE" or Util_terr == "CIM" or Util_terr == "CU" or Util_terr == "DEP" or Util_terr == "RO" or Util_terr == "PIC" or Util_terr == "US":
        return 0.00305
    elif Util_terr == "AL" or Util_terr == "CAM" or Util_terr == "DEF" or Util_terr == "DS" or Util_terr == "INC" or Util_terr == "LTE" or Util_terr == "-":
        return 0.0002
    elif Util_terr == "BAS" or Util_terr == "DH" or Util_terr == "INO":
        return 0.0017
    elif Util_terr == "BHE" or Util_terr == "QUA" or Util_terr == "EAU":
        return 0.00006
    elif Util_terr == "CAR" or Util_terr == "DEM" or Util_terr == "GR" or Util_terr == "MI":
        return 0.00305
    elif Util_terr == "CNE" or Util_terr == "GOL" or Util_terr == "PPN":
        return 0.00105
    elif Util_terr == "CS" or Util_terr == "VIL":
        return 0.0002
    elif Util_terr == "F" or Util_terr == "ILE" or Util_terr == "M" or Util_terr == "R":
        return 0.00005
    elif Util_terr == "HAB":
        return 0.00106
    else:
        return PTotal

```

- 28- Ajout et calcul du champ Pbio1 (P biosdisponible).

```

import math

```

```

def Pbio1 (Ppartgha, Pparthafert, PparticDRAIN, TotPm3, Preactsurf, PreactDRAIN):

```

```
return ((Ppartgha + Pparthafert + (PparticDRAIN * 1000)) * (14.858 * (math.pow(TotPm3, 0.2814))/100) + Preactsurf + PreactDRAIN) / 1000
```

- 29- Transformation de la couche complétée en une nouvelle couche portant le nom URH_Qte.

Quantités

Étapes du module :

- 1- Ajout et calcul du champ Zone_ha (Dans cette colonne, la superficie de chaque URH en hectares est calculée).
!shape.area@hectares!
- 2- Ajout et calcul du champ VolQsurf.
!Qsurf3! * 1
- 3- Ajout et calcul du champ VolQsout.
!Qsout2! * 1
- 4- Ajout et calcul du champ Qtesediment.
!Zone_ha! * !Sed2!
- 5- Ajout et calcul du champ QtePpartsurf.
!Zone_ha! * !Ppartsurf!
- 6- Ajout et calcul du champ QtePdissurf.
!Zone_ha! * !PdissSURF!
- 7- Ajout et calcul du champ QtePpartdrain.
!Zone_ha! * !PparticDRAIN!
- 8- Ajout et calcul du champ QtePsln drain.
!Zone_ha! * !PdissDRAIN!
- 9- Ajout et calcul du champ QtePpartfert.
!Zone_ha! * !Ppartfert!
- 10- Ajout et calcul du champ QtePslnfert.
!Zone_ha! * !Pslnsurffert!
- 11- Ajout et calcul du champ QtePtotal.
!Zone_ha! * !Ptotal!
- 12- Ajout et calcul du champ QtePtotalTOUT.
!Zone_ha! * !PtotalTOUT!
- 13- Ajout et calcul du champ QtePbio.
!Zone_ha! * !Pbio1!
- 14- Transformation de la couche complétée en une nouvelle couche portant le nom Sorties_ODEPspatial1.
- 15- Transformation de la couche polygonale des URH en une table portant le nom Sorties_ODEPspatial2.
- 16- Résumé statistique de la table Sorties_ODEPspatial2 qui fait la somme pour chaque type de P des quantités exportés pour ainsi obtenir une valeur pour l'ensemble des URH à l'étude, pour un bassin versant par exemple.

