

SIG et aide à la décision: une nouvelle approche basée sur la logique floue.

Atilio FRANCOIS – Consultant SIG

<http://blog.nasca.fr>

Un des problèmes majeurs lors de l'utilisation des systèmes d'information pour l'aide à la prise de décisions réside dans la difficulté de s'approcher du raisonnement humain. Nous nous cantonnerons ici à l'utilisation des informations géographiques, mais le problème se pose pour tout type d'information. Deux facteurs sont incontournables dès lors qu'on essaye de déterminer une hiérarchie d'objets, un classement selon plusieurs critères d'un ensemble d'entités : **l'imprécision** des données et des critères utilisés, et la **subjectivité** du décideur lors de la combinaison des différents critères.

Nous proposons ici une méthodologie permettant d'y répondre. Tout d'abord, en ce qui concerne l'incertitude, nous proposons de travailler sur des ensembles flous (fuzzy sets). Pour ce qui est de la subjectivité, nous proposons d'utiliser les travaux sur l'agrégation d'objets développés par Dubois et Prade dans leur Théorie des possibilités.

Le plan de cet article est le suivant :

- La première partie présente, à travers un exemple simple, le contexte du problème.
- La deuxième partie aborde les bases théoriques des solutions retenues.
- La troisième partie présente les différents outils développés pour ArcGis permettant de mettre en œuvre les solutions proposées.
- La quatrième partie est un tutoriel de réalisation d'une carte d'aptitude, avec le déroulement en parallèle des deux méthodes : la classique et celle proposée ici.
- Le sommaire détaillé se trouve en fin de document.

Les différents outils développés pour ArcGis peuvent être téléchargés à l'adresse suivante :

<http://blog.nasca.fr/index.php/logique-floue/>

Première partie : Contexte du problème et exemples

Les processus de décision s'appuient sur des informations de source et de type très variés. Ces informations sont utilisées par le ou les décideurs pour effectuer des choix, c'est à dire retenir un certain nombre d'entités et en exclure d'autres.

Prenons un exemple :

Une action doit être effectuée sur des communes, mais cette action dépend :

1. de la superficie des communes, comprise entre 2500 et 3000 hectares
2. du nombre d'habitants de la commune, compris entre 2500 et 5000

Le but de l'opération est d'effectuer un classement d'objets (les communes) selon deux critères (population et surface).

Utilisation des requêtes classiques des SIG.

Les outils proposés par les SIG travaillent de la manière suivante :

On effectue une sélection des communes en retenant comme résultat les communes qui ont une population comprise entre les deux bornes souhaitées (dans cet exemple entre 2500 et 5000 habitants)

On effectue une sélection des communes en retenant comme résultat les communes qui ont une surface comprise entre les deux bornes souhaitées (dans cet exemple entre 2500 et 3000 hectares)

On retient comme résultat final seulement les communes qui apparaissent dans les deux résultats de sélection précédents, en éliminant celles qui n'apparaissent que dans une seule des sélections.

Prenons par exemple l'ensemble des communes du Finistère.

Pour déterminer les communes répondant au critère **Population** on applique la requête de sélection:

« POPULATION » >=2500 AND « POPULATION » <=5000

Les 54 communes dont la population est comprise entre 2500 et 5000 sont les suivantes

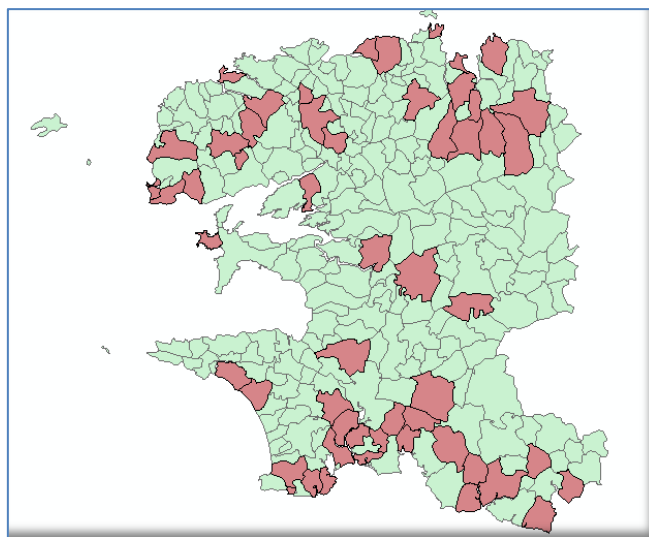


Figure 1 Communes dont la population est comprise entre 2500 et 5000 habitants

Pour déterminer les communes répondant au critère **Superficie** on applique la requête de sélection:

« SUPERFICIE » >=2500 AND « SUPERFICIE » <=3000

Les 26 communes dont la superficie est comprise entre 2500 et 3000 ha sont les suivantes:

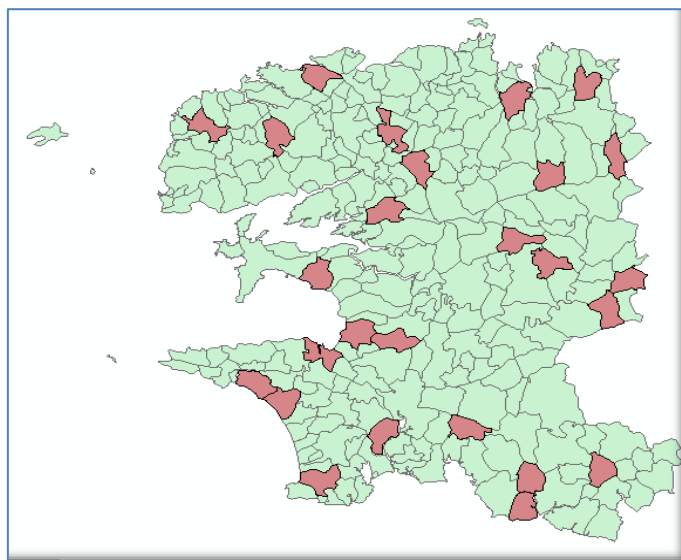


Figure 2 Communes dont la superficie est comprise entre 2500 et 3000 ha

Les 10 communes qui satisfont les deux conditions sont les suivantes:

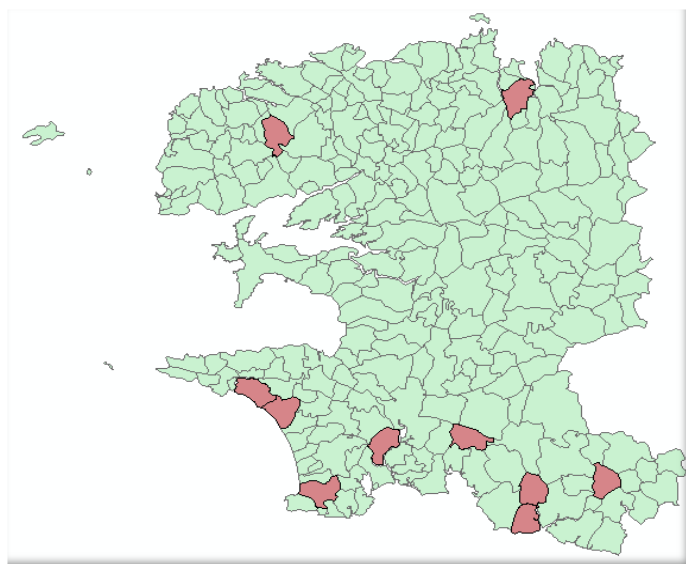


Figure 3 Communes qui satisfont les deux conditions précédentes

Si nous sommes le service technique, le résultat nous convient et nous le transmettons aux élus.

Si nous sommes des élus, nos problèmes commencent:

- Pourquoi la commune de Plouenan n'est pas dans le résultat? Parce qu'elle a une population de 2451 habitants (49 de moins que la borne inférieure) et une superficie de 3077 ha.
- Et la commune de Rédené? Parce qu'elle a 2464 ha (34 de moins que la borne inférieure), et 2870 habitants.
- Et la commune de... Bref, la liste sera plus ou moins longue, mais à chaque classement fait en utilisant notre logique « tout ou rien » (booléenne), classique en SIG, nous aurons des situations plus ou moins limites qui poseront problème.

Comprenons alors que pour une grande partie des élus, le fait qu'on leur annonce que notre outil est une « aide à la décision » est loin de les convaincre!

Une autre logique, un autre résultat

Une commune ayant 2499 habitants et non 2500 sera éliminée du résultat, tout comme une commune ayant 3001 ha et non 3000.

Dans les processus de décision, les valeurs des variables utilisées sont toujours entachées d'une certaine incertitude. Pour que le SIG puisse être un outil d'aide à la décision, il est indispensable de donner à l'utilisateur des outils qui correspondent à sa méthode de raisonnement.

La valeur de 2500 habitants est utilisée par le SIG comme une valeur stricte. Hors, dans l'esprit du décideur, cette valeur n'est qu'une valeur représentative d'une « taille » de commune (par exemple « commune moyenne »).

L'utilisation de « nombres flous » est une autre possibilité de classement d'objets.

Comment on définit une commune moyenne en logique floue? Au lieu d'utiliser deux valeurs comme bornes minimum-maximum on va utiliser quatre valeurs:

- Les deux bornes du nombre d'habitants entre lesquelles les communes correspondent totalement à sa perception d'une commune moyenne : par exemple : 2500 et 5000 ;
- La borne inférieure à partir de laquelle il est tout à fait exclu que la commune soit moyenne : par exemple 1500 ;
- La borne supérieure à partir de laquelle il est exclu que la commune soit moyenne : par exemple 7500.

Ceci permet de construire une fonction « d'appartenance » qui prend la forme

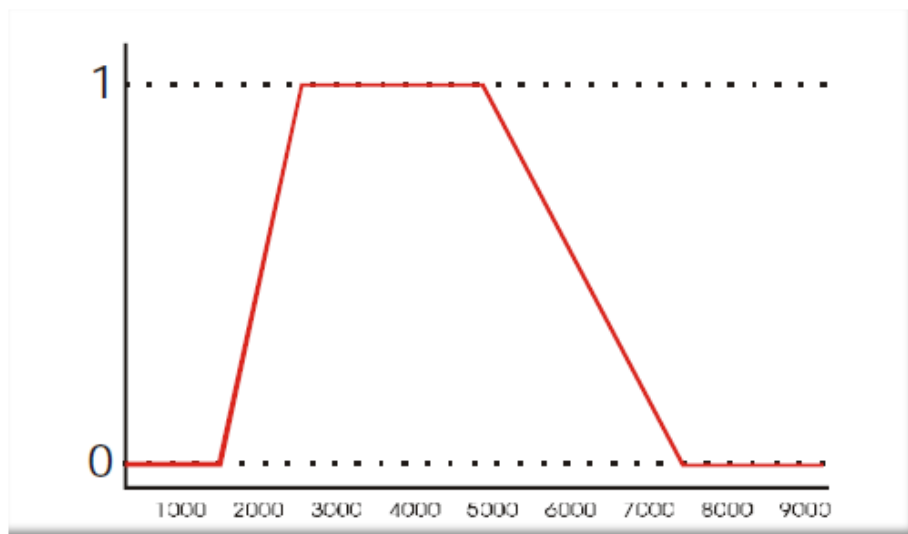


Figure 4 Fonction « d'appartenance » floue à un critère

Où l'on mesure l'appartenance à l'ensemble « Communes moyennes » entre 0 et 1 : les valeurs de population ayant une appartenance 0 sont complètement « exclues » de la classification, les valeurs ayant une appartenance de 1 sont « complètement incluses » et les valeurs entre 0 et 1 correspondent à une « plus ou moins » appartenance (d'où le terme de « flou »).

Si on applique cette fonction d'appartenance à nos communes du Finistère à la catégorie *Communes moyennes*, on obtient le résultat suivant:

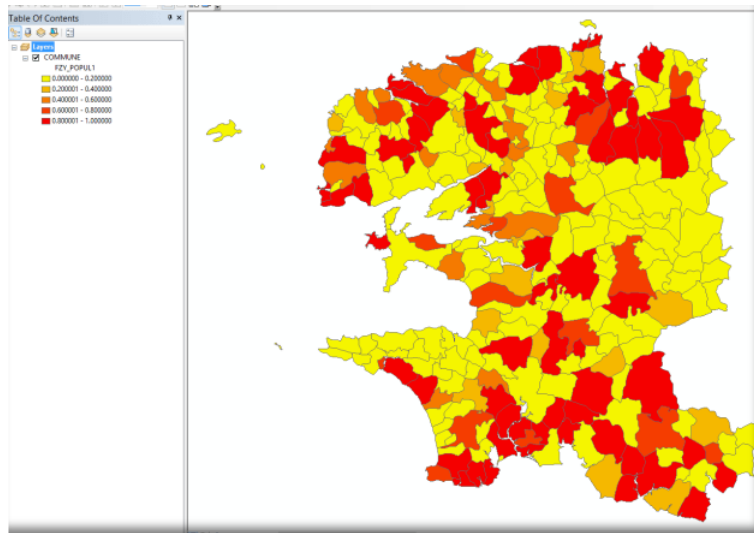


Figure 5 Représentation de la fonction d'appartenance des communes du Finistère à la catégorie *Communes moyennes*

Chaque commune a une valeur résultante comprise entre 0 et 1.

Pour plus de clarté, nous avons regroupés les communes en 5 classes:

- celles qui correspondent très bien au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.8 et 1.0 : 63 communes (en rouge)
- celles qui correspondent plutôt bien au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.6 et 0.8 : 16 communes (en orange foncé)
- celles qui correspondent moyennement au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.4 et 0.6 : 16 communes (en orange clair)
- celles qui correspondent plutôt mal au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.2 et 0.4 : 18 communes (en jaune foncé)
- celles qui correspondent mal au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.0 et 0.20 : 170 communes (en jaune clair)

Si on applique la fonction d'appartenance à nos communes du Finistère à la catégorie Communes de surface moyenne avec des bornes situées à 2000 ha – 2500 ha – 3000 ha et 4000 ha, on obtient le résultat suivant:

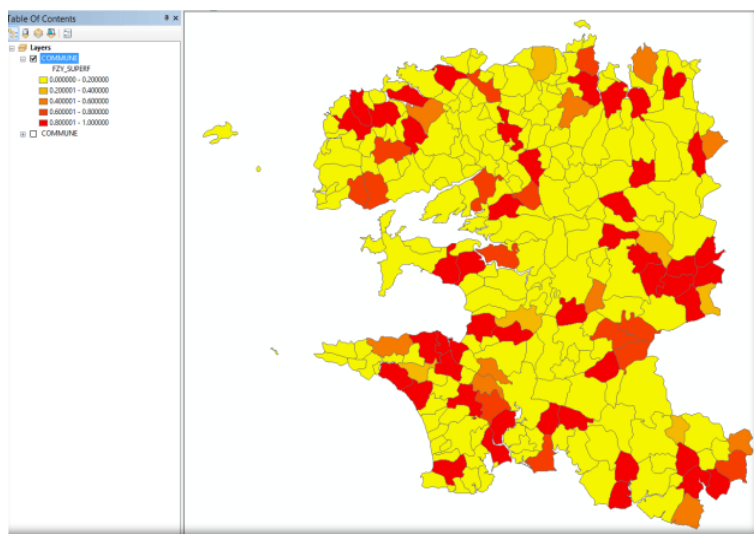


Figure 6 Représentation de la fonction d'appartenance des communes du Finistère à la catégorie *Communes de surface moyenne*

Chaque commune a une valeur résultante comprise entre 0 et 1.

Nous avons regroupés les communes en 5 classes comme pour la population:

- celles qui correspondent très bien au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.8 et 1.0 : 46 communes (en rouge)
- celles qui correspondent plutôt bien au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.6 et 0.8 : 14 communes (en orange foncé)
- celles qui correspondent moyennement au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.4 et 0.6 : 10 communes (en orange clair)
- celles qui correspondent plutôt mal au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.2 et 0.4 : 6 communes (en jaune foncé)
- celles qui correspondent mal au critère : valeurs résultantes comprises entre 0.0 et 0.20 : 207 communes (en jaune clair)

Effectuons maintenant le croisement des deux nombres flous:

Le résultat de l'agrégation des deux nombres flous : superficie et population est le suivant

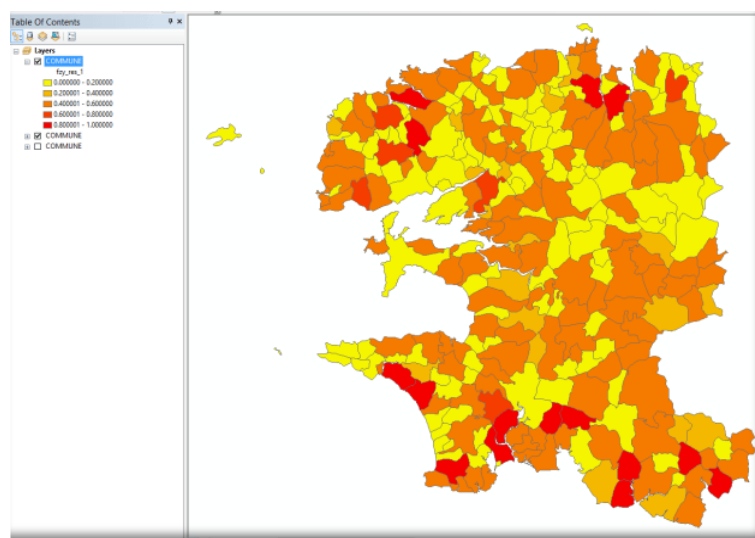


Figure 7 Résultat de l'agrégation des deux nombres flous : superficie et population

Chaque commune a une valeur résultante comprise entre 0 et 1.

Nous avons regroupés les communes en 5 classes :

- celles qui correspondent très bien aux deux critères : valeurs résultantes comprises entre 0.8 et 1.0 : 15 communes (en rouge)
- celles qui correspondent plutôt bien aux deux critères : valeurs résultantes comprises entre 0.6 et 0.8 : 6 communes (en orange foncé)
- celles qui correspondent moyennement aux deux critères : valeurs résultantes comprises entre 0.4 et 0.6 : 113 communes (en orange clair)
- celles qui correspondent plutôt mal aux deux critères : valeurs résultantes comprises entre 0.2 et 0.4 : 19 communes (en jaune foncé)
- celles qui correspondent mal aux deux critères : valeurs résultantes comprises entre 0.0 et 0.28 : 130 communes (en jaune clair)

Si on compare les deux types de démarche, en considérant que pour la démarche floue une appartenance de 80% peut être considérée comme très bonne, le nombre de communes retenues comme résultat est le suivant :

Démarche	Population	Superficie	Croisement
Booléenne	54	26	10
Floue	63	46	15

Bien sûr, les deux communes, Rédené et Plouenan, qui nous posaient problème au départ sont comprises dans les 15 communes retenues par le biais du traitement flou. La commune de Rédené a une appartenance de 0.93 et celle de Plouenan de 0.92.

Le classement d'entités géographiques

Dans cet exemple nous avons utilisé deux critères pour « classer » nos communes.

Le classement d'objets selon plusieurs critères est une opération courante de la vie de tous les jours. Quand on achète un produit on prend en compte le degré de satisfaction que donnent son prix, sa durée de vie, son « standing » ...

Pour chaque critère nous définissons nous-mêmes des fonctions « floues » (prix entre X et Y euros, pouvant aller jusqu'à Z au maximum) ou des « classements flous » comme par exemple le « standing » (i.e. : mauvais, moyen, bon, haut, très haut).

Nous réalisons nos choix en croisant les valeurs des différentes variables prises en compte et en obtenant un classement des différents produits en fonction du degré de satisfaction globale.

Prenons le cas simple de croisement de deux critères auxquels on attribue 5 valeurs de satisfaction : mauvais, plutôt mauvais, moyen, plutôt bon, bon. Chaque objet aura comme résultat un degré de satisfaction codé sur ces mêmes cinq valeurs.

Si nous recherchons un véhicule sur ses caractéristiques de résistance et de prix, par exemple, on retrouvera des véhicules très résistants, donc satisfaction maximale du premier critère, mais dont le prix est un peu au-dessus de ce que l'on souhaite, donc satisfaction moyenne du deuxième critère.

Quelle est la valeur résultante du croisement ? En réalité il n'y a pas une valeur résultante, mais plusieurs, en fonction de la personne qui fait le choix. Certains feront mentalement la moyenne des deux et donneront un classement « plutôt bon », pour d'autres le prix l'emportera et classeront ce véhicule comme « moyen », d'autres enfin seront plus sensibles au critère résistance et classeront le véhicule comme « bon ».

L'exemple devient encore plus clair si l'on considère un véhicule très résistant mais très cher (satisfaction complète d'un critère et insatisfaction complète de l'autre). Est ce que l'on donnera une valeur « moyenne », « plutôt mauvaise » ou « mauvaise » ?

Les outils SIG basés sur la logique classique travaillent sur le principe de la valeur minimum. Le résultat du croisement est la plus petite valeur des deux critères, qui rappelons-le, seront codés seulement en 0 et 1. Si un des deux critères n'est pas satisfait on a une paire de valeurs 1-0, le résultat du croisement sera donc 0.

L'utilisation d'un outil d'analyse spatiale souple permet de déterminer la fonction de croisement utilisée par l'opérateur. Cette étape revient simplement à demander à l'opérateur le résultat de trois croisements : Très bon – moyen, moyen – moyen, et Très bon – mauvais.

Le résultat de ce test permet de choisir une fonction parmi les 50 fonctions de croisement possibles quand on prend en compte 5 degrés de satisfaction (Théorie des possibilités, Applications à la représentation des connaissances en informatique, D. DUBOIS et H. PRADE, Masson 1988).

Reprenons notre exemple de classement des communes du Finistère en fonction de deux critères : population et superficie.

Le classement d'entités selon un seul critère

Pour établir le nombre flou permettant de classer les communes suivant un seul critère, nous nous sommes appuyés sur notre appréciation de deux qualités : la satisfaction complète du critère (1) ou son insatisfaction complète (0).

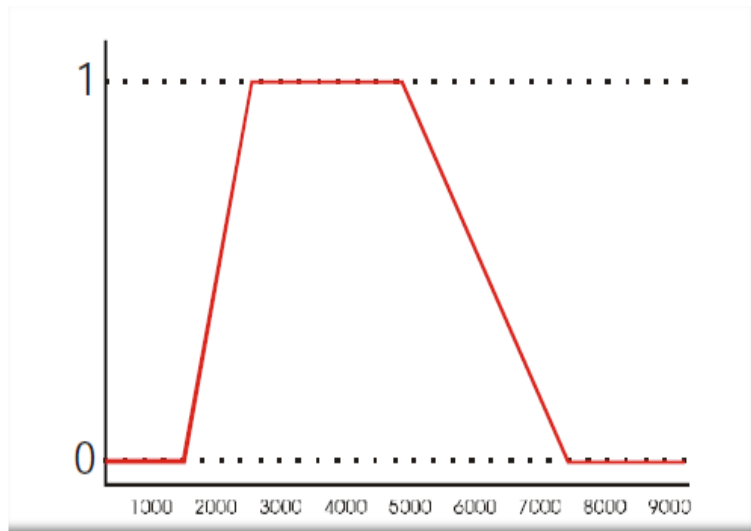


Figure 8 Fonction d'appartenance à un critère

Mais ce faisant, nous avons généré toute une série de valeurs intermédiaires, comprises entre 0 et 1. Travailler avec des nombres n'est pas facile, mais, surtout, ce n'est pas naturel. Dire qu'une commune satisfait à 0.356 le critère de surface et dire que la surface de la commune est plutôt insatisfaisante, c'est la même chose pour le traitement de classification mais ce n'est pas du tout la même chose pour l'opérateur.

Nous utilisons la plupart du temps une échelle de 5 valeurs de satisfaction : excellent, bon, moyen, médiocre, mauvais. Notre cerveau arrive, des fois, à gérer une échelle de 7 classes, en ajoutant un degré très bon et un très médiocre. Mais au-delà, ça devient métaphysique.

Nous allons donc nous appuyer sur une classification avec 5 classes pour la suite de notre exemple.

Comme vous avez pu constater, classer les communes selon un seul critère, que ce soit la population ou la superficie, ce n'est pas trop compliqué à l'aide d'un nombre flou. Mais vous constaterez aussi que cela fait intervenir un aspect subjectif qui n'est pas unique. Autant on aura une seule classification en logique booléenne quand on définit une fourchette, par exemple 2500 à 5000 habitants, autant on pourra avoir des limites basses et hautes différentes selon chaque opérateur pour définir quand c'est absolument exclu que ce soit une commune moyenne. Dans notre exemple on a utilisé 1500 et 7500, mais nous nageons en pleine subjectivité. Pour quelqu'un d'autre ce sera 1500 et 6000, etc.

Nous touchons ici un point essentiel du travail avec la logique floue : il n'y a pas UN résultat possible, il y en a autant que d'acteurs possibles. Et ce n'est pas une question de savoir quel est le VRAI résultat. Ils sont tous vrais car ils correspondent à la vision de chaque acteur concerné.

Le classement d'entités selon deux critères

Une fois effectués les deux classements selon chacun des critères choisis, il vient le moment de classer nos communes selon les deux critères associés: celles qui satisfont totalement les deux critères seront en haut du classement, celles qui ne satisfont pas du tout les deux critères, tout en bas. Et puis celles qui satisfont partiellement l'un ou l'autre critère seront au milieu.

Mais au milieu, où et dans quel ordre?

Oublions les chiffres et utilisons nos cinq classes. Une commune qui satisfait totalement un des deux critères et qui ne satisfait pas du tout l'autre critère, nous allons dire qu'elle satisfait l'ensemble des deux de manière: excellente, bonne, moyenne, médiocre ou mauvaise?

Eh bien, ça dépend! Selon l'acteur il pourra prendre n'importe laquelle de ces valeurs. Le but alors ce n'est pas de savoir quelle est la bonne façon de croiser les deux critères, mais de déterminer comment notre acteur réalise ce croisement dans sa tête.

Pour trouver la formule mathématique sous-jacente au raisonnement de notre acteur, il suffit de lui proposer trois croisements

- Comment classe-t-il une commune qui satisfait totalement le critère population et pas du tout celui de surface?
- Comment classe-t-il une commune qui satisfait moyennement le critère population et moyennement celui de surface?
- Comment classe-t-il une commune qui satisfait totalement le critère population et moyennement celui de surface?

Dans notre exemple des communes du Finistère, le classement revient à croiser pour chaque objet (commune) la valeur des deux paramètres à prendre en compte.

La définition de la fonction de croisement se fait par la réponse aux trois cas :

Population	Surface	Résultat souhaité
3750 (très bon)	1500 (mauvais)	moyen
2000 (moyen)	2250 (moyen)	moyen
3750 (très bon)	2250 (moyen)	Plutôt bon

La traduction mathématique de ces réponses est : $R = \text{moyenne}(\text{Population}, \text{Surface})$

L'outil que nous avons développé permet de faire cette opération ainsi que le croisement:

Figure 9 Outil d'agrégation souple développé pour ArcMap

Le résultat obtenu est le suivant:

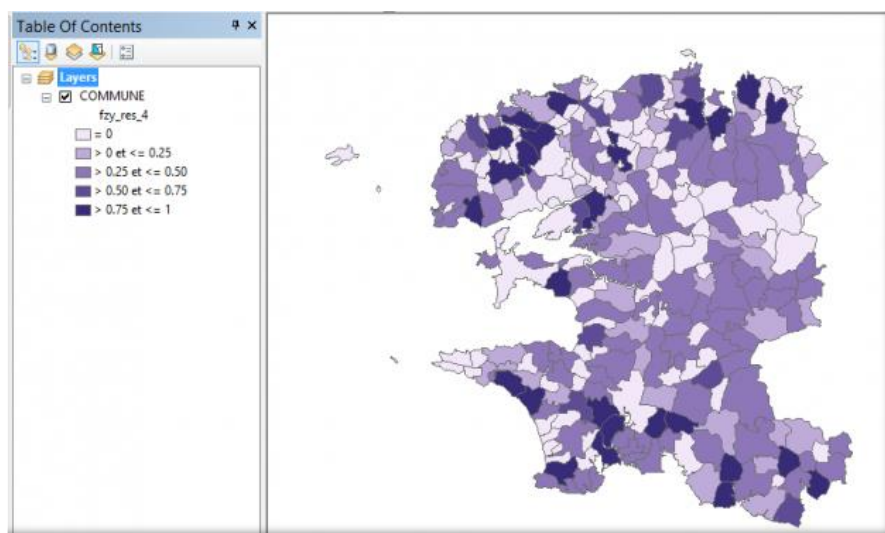


Figure 10 Résultat de l'agrégation avec les réponses Assez bon – Assez bon -Bon

Nous trouvons 20 communes situées dans la fourchette de satisfaction des deux critères 0.8-1.0
Ceci est à comparer avec le résultat en utilisant la logique booléenne (voir chapitre précédent):

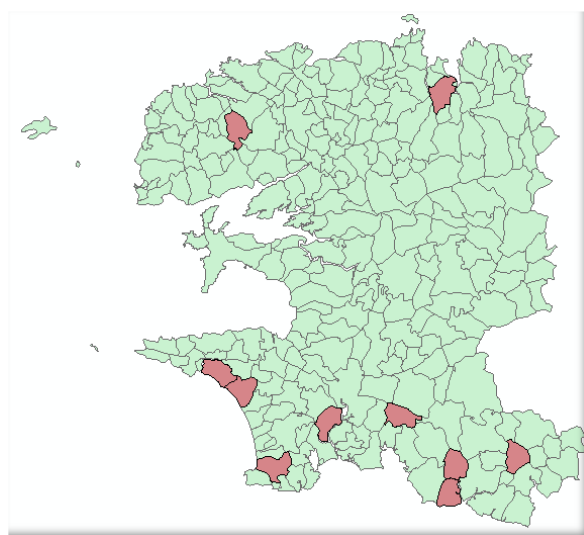


Figure 11 Résultat en utilisant la logique booléenne

où nous trouvons que 10 communes satisfaisant les deux critères.

Avec les mêmes données, si l'opérateur entre des réponses différentes dans le tableau :

Population	Surface	Résultat souhaité
3750 (très bon)	1500 (mauvais)	mauvais
2000 (moyen)	2250 (moyen)	moyen
3750 (très bon)	2250 (moyen)	moyen

La traduction mathématique de ces réponses est : $R = \text{minimum}(\text{Population}, \text{Surface})$
Cette fonction correspond à celle utilisée par les outils classiques.

Avec notre outil on rentre les paramètres suivants:

Figure 12 Outil d'agrégation souple avec les réponses Très mauvais - Assez bon - Assez bon

Et on obtient le résultat de l'application de cette fonction aux données :

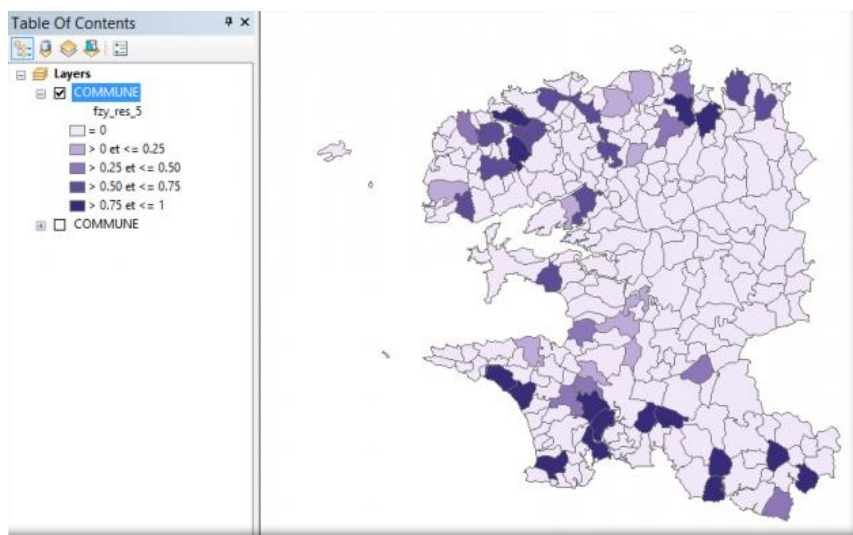


Figure 13 Résultat de l'agrégation souple avec les réponses Très mauvais - Assez bon - Assez bon

Avec ces réponses, on n'obtient maintenant que 15 communes dans la tranche de satisfaction 0.8 - 1.0, contre les 20 trouvées avec les précédentes réponses.

Quelles conclusions tirer?

Les principales conclusions que l'on peut tirer sont :

- La transformation de chaque critère en fonction floue apporte la notion de nuance dans chaque critère. On ne procède pas par sélection (qui implique rejet et abandon de certains éléments) mais par classement des objets selon chaque critère.
- Quel que soit le nombre de critères utilisés, à tout moment l'ensemble des objets est présent dans les croisements. Un objet qui est mal classé par un premier croisement peut être « rattrapé » par des croisements ultérieurs.
- Dans tout classement il y a une partie de subjectivité due à l'opérateur. Cette subjectivité peut être mesurée et modélisée par des fonctions mathématiques simples. Selon l'opérateur décisionnaire) le résultat ne sera pas exactement le même.
- Dans tous les cas, cette méthode donne des résultats plus riches et plus proches de la réalité des processus de décision. Elle permet aussi de déterminer les différences d'appréciation entre acteurs (différentes méthodes de croisement) et par là même porter la concertation sur la source de divergence plutôt que sur le résultat final discordant.

L'utilisation d'ensembles flous sur des données existantes de SIG permet un éventail de réponses qui offrent toutes les variations intermédiaires entre celles qui sont complètement satisfaisantes et celles complètement insatisfaisantes. L'utilisateur bénéficie ainsi d'une réponse plus proche de son raisonnement usuel – nuancé- et n'est plus obligé de se restreindre aux seules réponses satisfaisant totalement son critère de sélection.

Une avancée particulière peut être observée dans le cas où aucune réponse ne correspond totalement aux critères de sélection : une requête traditionnelle donne 0 résultat tandis que là on obtient les réponses qui s'approchent le plus de ces critères.

La mise en place des mécanismes de la théorie des possibilités dans les outils de requête et d'agrégation de données permet d'introduire les notions d'imprécision et d'incertitude qui interviennent tant au niveau des connaissances que dans les processus de décision. Le système d'information s'adapte ainsi à des informations mal connues ou mal définies : une information peut devenir plus certaine ou plus incertaine au cours du temps tout en conservant la même valeur de mesure.

Deuxième partie : Bases théoriques du classement d'objets avec des nombres flous

Introduction

On a un ensemble Ω d'objets à classer selon un ensemble C de critères. Le nombre d'objets est fini. Les évaluations partielles des objets selon chaque critère prennent leurs valeurs dans des ensembles facilement identifiables.

Un objectif partiel sera vu comme un ensemble flou restreignant les valeurs admissibles du critère associé. On accepte donc l'hypothèse implicite que chaque objectif définit un ordre total sur Ω .

Nous prendrons comme exemple le cas d'un ensemble Ω représentant les pixels d'une zone d'étude que l'on désire classer selon leur aptitude à recevoir des sites d'élevage aquicole. L'ensemble C de critères est l'ensemble de couches de données dont on dispose: bathymétrie, pente, substrat, productivité, etc. Chacune de ces couches d'information prend des valeurs facilement identifiables : favorable, peu favorable, défavorable, etc.

Pour chaque couche d'information on décidera un objectif, par exemple, pour la bathymétrie qu'elle soit au moins favorable, pour la productivité qu'elle soit au moins peu favorable, etc. L'objectif n'est autre que le sous-ensemble des valeurs acceptables de la couche d'information.

Enfin, on accepte l'hypothèse que chaque couche d'information prise séparément peut être classée dans sa totalité par l'objectif fixé, c'est à dire qu'on est capable pour chaque pixel de déterminer la valeur correspondante de la couche.

Principe de l'approche.

L'objectif associé à un critère (couche d'information) sera décrit comme un ensemble flou. Les valeurs des pixels de la couche situées dans le noyau seront donc parfaitement compatibles avec l'objectif, tandis que les valeurs situées en dehors du support sont totalement incompatibles.

Si on utilise seulement deux catégories de valeurs, par exemple favorable et défavorable, on aura pour la bathymétrie la représentation suivante de l'objectif.

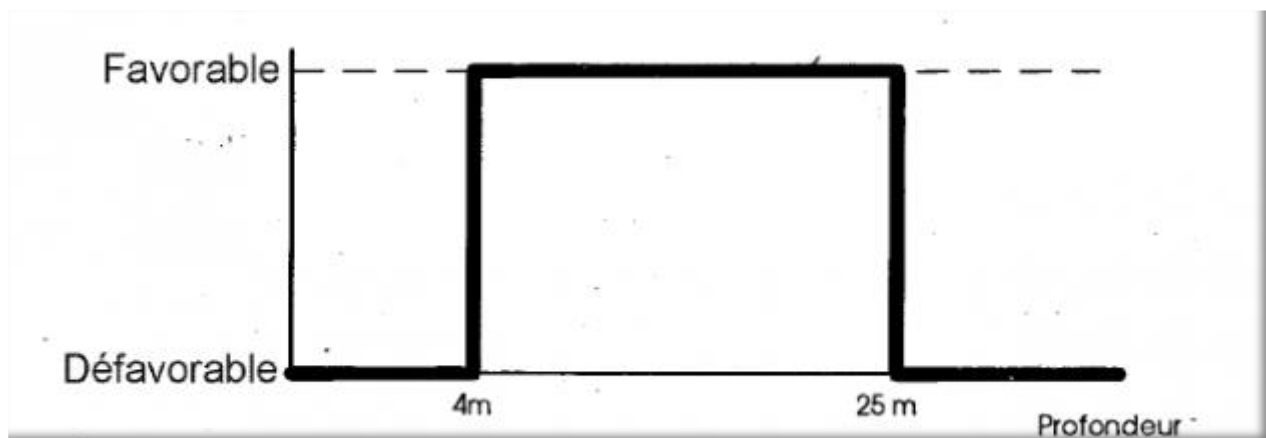


Figure 14 Classement d'un objet selon deux valeurs possibles

Même si l'estimation d'une fonction mathématique reliant la profondeur à l'adéquation du site pour l'élevage des huîtres ne peut se faire de façon exacte, la forme de la courbe permet d'exprimer certains comportements du décideur. C'est pourquoi, en général on préfère utiliser une échelle discrète de notation comportant le plus souvent 5 niveaux, maximum 7, selon le seuil de perception du décideur.

Une manière simple est d'exprimer linguistiquement les niveaux de compatibilité entre l'objectif et l'évaluation, puis de les projeter sur $[0,1]$ en utilisant le tableau suivant:

Appréciation Linguistique	Niveau de compatibilité conséquence - objectif	Convention numérique dans [0,1]	Convention ordinale
Très bien	Totalement compatible	1	A
Bien	Plutôt compatible	0,75	B
Assez bien	Moyennement compatible	0,5	C
Médiocre	Faiblement compatible	0,25	D
Très mauvais	Incompatible	0	E

Le fait de représenter le critère à l'aide d'un intervalle flou permet une représentation plus commode et plus riche en information. En effet, le décideur doit fournir un souhait quant à la valeur, par exemple, de la bathymétrie. Il doit établir un intervalle mais la question se pose forcément: doit-il fixer cet intervalle en étant pessimiste et donc en établissant des bornes éloignées, ou alors en étant optimiste et donc en resserrant les bornes?

L'intervalle flou permet d'avoir les deux représentations à la fois: l'intervalle pessimiste sera le support et l'intervalle optimiste le noyau.

Par exemple: si le décideur considère qu'il est impossible d'élever des huîtres en deçà de 4m de profondeur et au-delà de 25 m de profondeur, mais que les profondeurs optimales se situent entre 8 et 12 m, nous aurons comme objectif l'intervalle flou suivant:

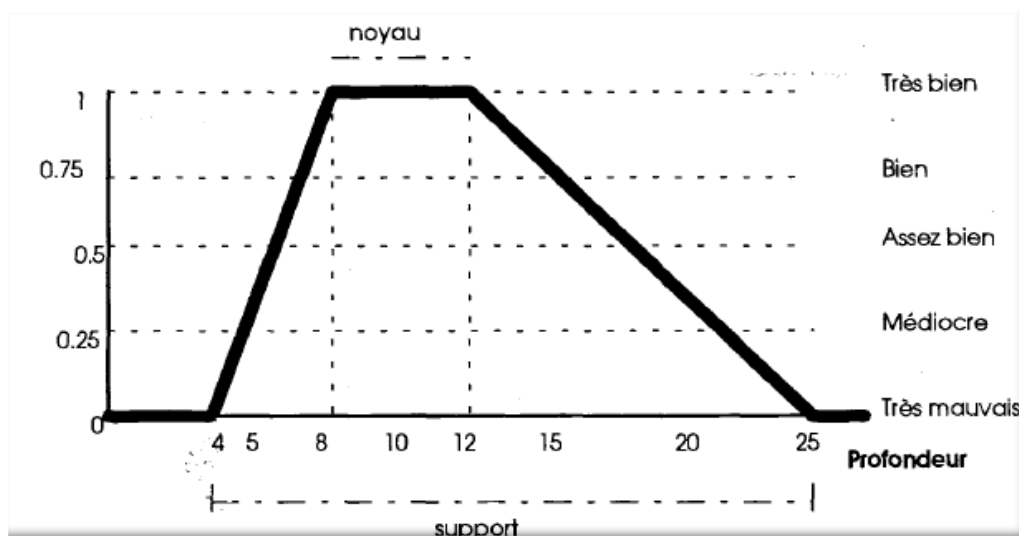


Figure 15 Classement d'un objet à l'aide d'un ensemble flou

L'agrégation de critères

On considère ici le cas d'une paire de critères. La généralisation au cas de n critères où $n > 2$ est présentée dans un autre document.

Deux situations sont à étudier:

- deux critères d'égale importance;
- deux critères d'importance inégale.

1: Critères d'égale importance.

Deux critères d'égale importance peuvent être croisés selon le principe de tout ou rien ou alors en introduisant des nuances. Le principe de tout ou rien exclut tout compromis entre les deux critères et se traduit par deux opérations d'agrégation: la conjonction ou la disjonction. La conjonction est utilisée dans le cas où l'on désire la satisfaction simultanée des deux critères (le "et" logique). C'est à dire que l'évaluation globale ne peut être meilleure que la plus mauvaise des évaluations partielles.

Exemple: agrégation du critère substrat et productivité. Si l'attitude du décideur implique la satisfaction simultanée des deux critères cela veut dire que si le substrat est moyennement favorable et la productivité est très favorable, le résultat de l'agrégation des deux critères sera le plus défavorable des deux, c'est à dire moyennement favorable.

La disjonction est utilisée dans les cas où des critères sont redondants (le "ou" logique). C'est à dire que l'évaluation globale sera égale à la meilleure des évaluations partielles.

Exemple: agrégation du critère "qualité de l'eau" et "productivité". Si l'attitude du décideur implique une redondance de ces deux critères cela veut dire que si la qualité de l'eau est moyenne et la productivité est très bonne, le résultat de l'agrégation sera le plus favorable des deux, c'est à dire "très bon".

Une troisième attitude du décideur laisse de côté le tout ou rien pour introduire des nuances dans l'agrégation. Si les objectifs deviennent nuancés, le compromis entre les deux critères devient une des attitudes naturelles du décideur.

Le compromis se traduit par le fait que l'évaluation globale se situe à un niveau intermédiaire entre les évaluations partielles. En reprenant l'exemple de la qualité de l'eau et la productivité, si on a une qualité moyenne et une productivité excellente, le résultat sera; par exemple, «bon».

Sur des ensembles flous on réalise ce type d'opération ensembliste à l'aide de deux familles d'opérations d'agrégation : les sommes symétriques et les médianes paramétrées.

Parmi les médianes paramétrées on retrouve la moyenne harmonique $\left(\frac{2xy}{x+y}\right)$, la moyenne géométrique (\sqrt{xy}) , et la moyenne arithmétique $\left(\frac{x+y}{2}\right)$, etc.

Les sommes symétriques sont du type: $\sigma_0 = \frac{xy}{1-x-y+2xy}$, $\sigma_+ = \frac{x+y-xy}{1-x-y-2xy}$, etc

Procédure de détermination de l'opération d'agrégation.

Dans le cas d'agrégation de deux objectifs il existe une procédure simple pour déterminer le type d'opération à effectuer. Elle consiste à proposer au décideur trois situations type et lui demander de les évaluer. A partir des trois réponses données on recherche dans un catalogue de fonctions celle qui correspond le mieux aux souhaits du décideur.

Les trois situations type (S1, S2, S3) sont choisies en fonction des deux critères (C1, C2) de manière que:

- S1 soit incompatible (Note E ou 0) avec C1, mais totalement compatible (note A ou 1) avec C2;
- S2 soit moyennement compatible (note C ou 0.5) avec les deux objectifs C1 et C2;
- S3 soit moyennement compatible (note C ou 0,5) avec C1 et totalement compatible (note A ou 1) avec C2.

On obtient trois réponses (R1, R2, R3) à partir desquelles on cherche l'opération d'agrégation dans la table suivante.

S1	S2	S3	
E	C	C	
A	C	A	
			Opération d'agrégation
R1	R2	R3	
E	E	C	$\max(0, u+v-1)$
E	D	C	$u.v$
E	C	C	$\min(u, v)$
E	C	B	$\sqrt{u.v}; \frac{2uv}{u+v}$
D	C	C	$\text{med}(u, v, 1/4)$
C	C	C	$\text{med}(u, v, 1/2); \frac{\min(u, v)}{1-u-v}$
C	C	B	$\frac{u+v}{2}; \sigma; \frac{\max(u, v)}{1+ u-v }$
C	C	A	σ_0
B	C	B	$\text{med}(u, v, 3/4)$
A	C	A	$\max(u, v); 1 - \sqrt{(1-u)(1-v)}$
A	B	A	$u+v-uv$
A	A	A	$\min(1, u+v)$

Figure 16 Extrait de la table d'opérations possibles en fonction des réponses

Cette table n'est pas exhaustive et ne concerne que les réponses plus habituelles. En réalité l'ensemble des réponses possibles comporte 50 triplets. Ces triplets doivent toutefois respecter les contraintes suivantes:

- 1) $R3 \geq \max(R1, R2)$, l'évaluation d'une situation qui satisfait complètement le critère 2 et moyennement le critère 1 doit être au moins égale à la meilleure évaluation des deux autres situations (R1 et R2), dont l'une ne satisfait pas du tout le premier critère et l'autre satisfait que moyennement les deux critères;
- 2) $R3 \geq$ note C ou 0,5, la satisfaction totale du deuxième critère ne peut faire chuter la satisfaction globale en dessous du niveau de satisfaction du premier critère ;
- 3) la fonction d'agrégation doit être symétrique, c'est à dire que les objectifs sont d'égale importance et peuvent donc s'interchanger dans le processus d'agrégation. (Attention: dire que les objectifs sont d'égale importance n'implique pas qu'ils aient le même caractère critique. Voir plus loin: objectifs d'importance inégale).

Exemple d'agrégation.

On considère l'agrégation du critère "bathymétrie" tel qu'il est dans la figure 2 et un autre critère par exemple le substrat qu'on définit selon une échelle granulométrique:

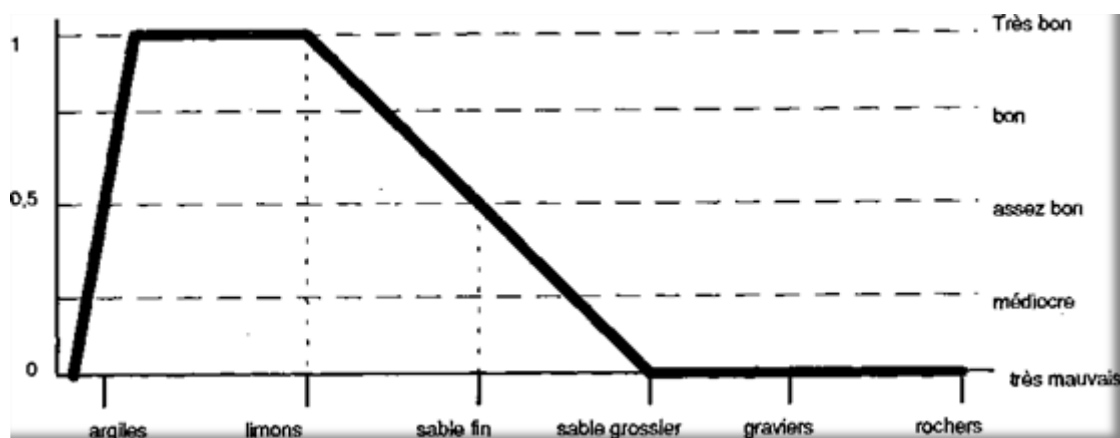


Figure 17 Représentation floue du critère substrat avec 5 degrés de satisfaction

On propose à l'utilisateur d'évaluer trois situations

1) Comment classeriez-vous un site avec 30 m de profondeur et un fond de limons?

☐ Très bon ☐ Bon ☐ Assez bon ☐ Médiocre ☐ Très mauvais

2) Comment classeriez-vous un site avec 17 m de profondeur et un fond de sable fin?

☐ Très bon ☐ Bon ☐ Assez bon ☐ Médiocre ☐ Très mauvais

3) Comment classeriez-vous un site avec 17 m de profondeur et un fond de limons?

☐ Très bon ☐ Bon ☐ Assez bon ☐ Médiocre ☐ Très mauvais

La première question correspond à $C1=E$ et $C2=A$, c'est à dire qu'il propose une valeur très mauvaise pour le premier critère (30m est au-delà des 25m) et une valeur excellente pour le deuxième critère.

La deuxième question correspond à $C1=C2=C$, c'est à dire qu'elle propose deux valeurs moyennes pour les deux critères.

La troisième question correspond à $C1=C$ et $C2=A$, c'est à dire qu'elle propose une valeur moyenne pour le premier critère et une valeur excellente pour le deuxième.

Un utilisateur pourra répondre par exemple:

1. très mauvais (le critère de profondeur semble ici capital),
2. assez bon (une profondeur moyenne et un fond moyen représentent un site moyen)
3. assez bon (pour cet utilisateur le critère de profondeur est plus important. Malgré le fait que le substrat soit très bon, le fait d'avoir une profondeur moyenne fait considérer le site comme moyen).

On a donc $R1=E$, $R2=C$, $R3=0$, ce qui correspond à la troisième ligne de la table des opérations d'agrégation où l'on trouve comme opération : $\min(u,v)$

u est la valeur du pixel sur la couche "bathymétrie[0, 1]", v est la valeur du pixel sur la couche "substrat[0,1]", c'est à dire que l'on a classé les pixels avec des valeurs entre 0 et 1 selon les critères définis dans les figures 1 et 3.

L'opération d'agrégation est donc de garder pour chaque pixel la valeur minimum de u et v . Ceci correspond dans un logiciel de traitement d'image à la fonction d'Overlaying avec création d'une couche composite avec les valeurs minimum des deux couches.

Un autre utilisateur pourra répondre, par exemple :

1. très mauvais
2. assez bon
3. bon

Pour cet utilisateur les critères sont à peu près équivalents à partir d'un certain seuil moyen, ce qui fait que pour la troisième question son évaluation se situe à mi-chemin des deux critères partiels.

On a donc $R1=E$, $R2=C$, $R3=B$, ce qui correspond à la quatrième ligne de la table des opérations d'agrégation où l'on

trouve deux opérations possibles: \sqrt{uv} ou bien $\frac{2uv}{u+v}$.

Si l'on désire affiner le calcul, une quatrième question serait nécessaire pour départager le mode de calcul. Dans la plupart des cas on peut prendre indifféremment l'une ou l'autre car les résultats sont très rapprochés.

2: Critères d'importance inégale

Deux critères ont la même importance si la fonction d'agrégation est symétrique, c'est à dire si la réponse aux trois questions d'évaluation est la même si l'on inverse l'ordre des critères.

Par exemple, pour les critères bathymétrie et substrat on peut construire la première question de deux façons:

a) une bathymétrie totalement incompatible (E) et un substrat complètement compatible (A) si on prend $C1=bathymétrie$ et $C2=substrat$, ou alors

b) un substrat complètement incompatible (E) et une bathymétrie complètement compatible (A) si on prend $C1=substrat$ et $C2=bathymétrie$.

Si les deux critères ont la même importance, la réponse à cette question sera la même dans les deux cas. Ce qui apparaîtra au travers de cette réponse c'est la manière subjective d'agrégation des deux critères (conjonction ou disjonction) ou le mécanisme sous-jacent de compromis que le décideur utilise.

Par contre, si un des deux critères a une importance plus grande que l'autre, la symétrie ne se vérifiera pas. Par exemple si la bathymétrie est plus importante aux yeux du décideur que le substrat, il pourra répondre médiocre (D) dans le premier cas et bon (B) dans le deuxième. Dans ce cas, la table d'opérations d'agrégation n'est plus valable.

Le concept d'importance d'un critère par rapport à un autre a été fort peu élucidé jusqu'à présent. Le sens que l'on donne à ce mot est très variable selon les décideurs ou selon les situations.

Contrairement à l'agrégation de critères d'égale importance, pour lesquels on trouve les développements des calculs dans la littérature, il fallait développer une méthode pour traiter l'agrégation de critères d'importance inégale.

Limites du problème.

Il ne faut pas confondre l'importance inégale avec le seuil de discrimination d'un critère.

Par seuil de discrimination on entendra la relation entre l'intervalle correspondant à un critère et le domaine global de variation des valeurs.

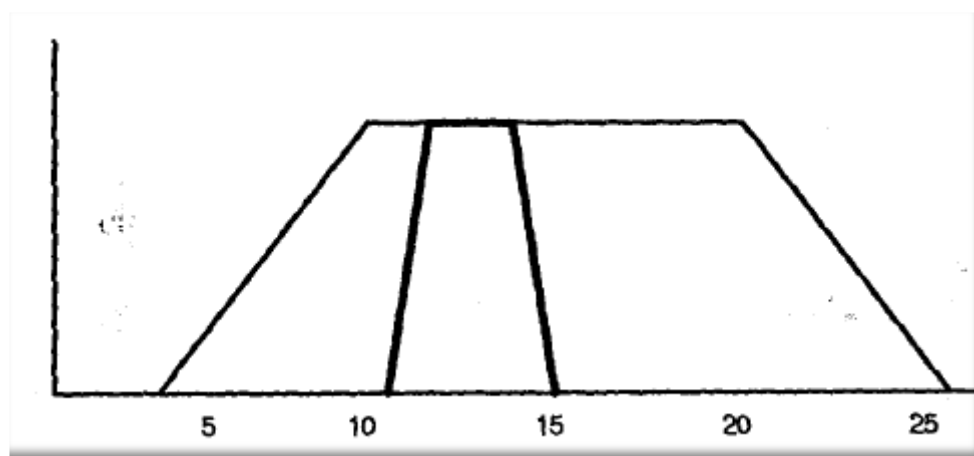


Figure 18 Pouvoir discriminant d'un critère

Par exemple, si les profondeurs varient entre 0 et 30 m, fixer comme critère le nombre flou (4, 10, 20, 26) est moins sélectif que (11, 12, 14, 15). On observe que, généralement, plus un objectif est jugé important par un décideur, plus il aura tendance à définir des supports et des noyaux étroits et au contraire, moins il juge important un critère plus il aura tendance à établir des bornes éloignées.

Ceci est une manière de traduire une certaine idée d'importance des critères, mais elle reste dans le domaine de ce que nous appelons des critères d'égale importance.

Une autre forme très répandue pour exprimer l'importance inégale des critères est la pondération des objectifs : on affecte un poids à chaque objectif et on intègre ce poids à l'opération d'agrégation.

Cette méthode à l'inconvénient de ne pas pouvoir s'appliquer à autre chose que des nombres, et que l'évaluation, à priori, des poids est problématique.

Enoncé du problème

Comment enrichir la liste des Questions S1, S2, S3 avec le nombre le plus petit de nouvelles questions pour déterminer :

- si la fonction d'agrégation est symétrique ou non, et par conséquent si on peut utiliser la table d'opérations d'agrégation d'objectifs d'égale importance;
- si la fonction n'est pas symétrique, quel est le poids relatif de chaque critère C1 et C2?

Solution proposée.

Nous avons S1(E,A), S2(C,C), S3(C,A). On propose d'ajouter S4(A,E), c'est à dire la question symétrique à S1 comportant une proposition totalement compatible avec le critère C1 et une autre totalement incompatible avec le critère C2.

Toutes les réponses formant un doublet S1 ,S4 (AA,BB,CC,DD,EE) renvoient au traitement de critères d'égale importance.

Les doublets (A,E) et (E,A) correspondent à un cas particulier où le poids d'un critère est égal à 0, l'agrégation n'est pas nécessaire car le résultat est égal à C1 dans le cas de (A,E), ou à C2 dans le cas de (E,A).

Pour les autres doublets possibles il est nécessaire de déterminer quelle opération d'agrégation peut-on utiliser, avant de déterminer les poids à appliquer.

Parmi les opérations d'agrégation, min, max et les sommes symétriques ne peuvent s'appliquer que sur des critères symétriques, et donc elles doivent être éliminées d'office.

Parmi les opérations de moyenne, seule la moyenne arithmétique peut donner un résultat différent de 0 dans le cas où l'un des critères est 0 ($\forall xy = 0$ et $2xy/(x+y)=0$ si $x=0$ ou $y=0$).

On retiendra donc la moyenne arithmétique comme opération d'agrégation sous la forme

$$(P_x.x + P_y.y)/(P_x + P_y)$$

P_x et P_y étant les poids respectifs des critères C1 et C2.

Dans le cas des doublets (D,B) et (B,D) il est facile de démontrer que les poids doivent être 3 et 1 pour (D,B) et 1 et 3 pour (B,D).

Il n'y a pas d'autres doublets possibles (DC,DA,...) si P_x et P_y sont constants. Les autres doublets supposent que $P_x=f(x)$ et $P_y=f(y)$.

On peut conclure que la pondération des objectifs n'est nécessaire que pour un nombre de classes supérieur à trois, et ne peut s'appliquer par exemple à un critère qui serait: bon, moyen, mauvais. Dans ce cas on serait toujours dans le domaine d'une fonction symétrique.

Dans le cas de $n=5$, comme c'est le cas de la table 1, seul le facteur de pondération 3 - 1 est utilisable, si l'on se tient à un raisonnement proche de l'attitude d'un décideur.

Solution pratique

Il y a 25 combinaisons possibles de réponse à la question S4, symétrique de S1. Nous les avons divisées en 5 groupes :

- 1- Réponses confirmant l'égale importance des deux critères : cinq combinaisons, les doublets AA, BB, CC, DD et EE. La formule d'agrégation est recherchée dans la table des 50 triplets en ignorant la réponse S4.
- 2- Réponses démontrant la non prise en compte du tout d'un critère : deux combinaisons, les doublets AE et EA. Le résultat de l'agrégation est directement la valeur du critère pris en compte, en ignorant la valeur de l'autre critère.
- 3- Les réponses où l'écart entre S1 et S4 est de 0,5 et qui impliquent un poids différent des deux critères (poids 1 et 3) : six combinaisons, les doublets AC, BD, CA, CE, DB et EC. On utilise les poids de 1 et 3 pour les critères en entrée et la moyenne arithmétique.
- 4- Des réponses qui s'approchent d'une égale importance des critères, mais nuancées. L'écart entre les réponses est de 0,25 : six combinaisons, les doublets AB, BA, BC, CB, DC et CD. La formule d'agrégation est recherchée dans la table des 50 triplets en ignorant la réponse S4, puis on nuance le résultat obtenu de 0,25 du critère plus important.
- 5- Les réponses qui s'approchent de la non prise en compte d'un des deux critères. L'écart entre les deux réponses est de 0,75 : six combinaisons, les doublets AD, BE, ED, DA, DE et EB. Le résultat de l'agrégation sera le critère considéré comme important, nuancé de 0,25 du critère moins important.

Le tableau suivant détaille les 25 combinaisons et les formules d'agrégation utilisées.

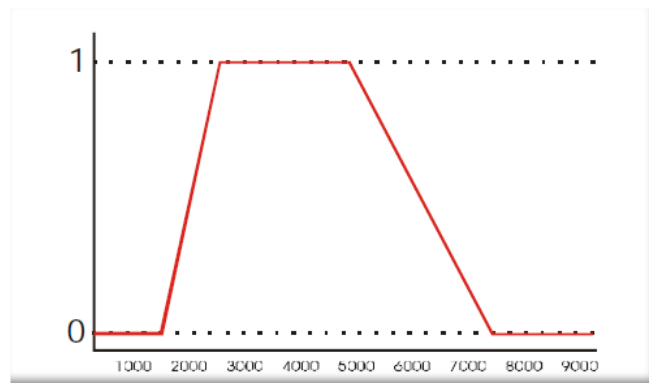
AA	Pas de changement	$R=R$
AB		$\text{Max}[(R-0.25C1),0]$
AC	Pa=1 Pb=3	$\min\left[\left(\frac{PaC1 + PbC2}{4}\right) + 0.25\right], [1]$
AD		$\min[(C2+0.25C1),1]$
AE	Pas de croisement	$R=C1$
BA		$\text{Min}[(R+0.25C1),1]$
BB	Pas de changement	$R=R$
BC		$\text{Max}[(R-0.25C1),0]$
BD	Pa=1 Pb=3	$\frac{PaC1 + PbC2}{4}$
BE		$\text{Max}[(C2-0.25C1),0]$
CA	Pa=3 Pb=1	$\min\left[\left(\frac{PaC1 + PbC2}{4}\right) + 0.25\right], [1]$
CB		$\text{Min}[(R+0.25C1),1]$
CC	Pas de changement	$R=R$
CD		$\text{Max}[(R-0.25C1),0]$
CE	Pa=1 Pb=3	$\max\left[\left(\frac{PaC1 + PbC2}{4}\right) - 0.25\right], [0]$
DA		$\text{Min}[(C1+0.25C2),1]$
DB	Pa=3 Pb=1	$\frac{PaC1 + PbC2}{4}$
DC		$\text{Min}[(R+0.25C1),1]$
DD	Pas de changement	$R=R$
DE		$\text{Max}[(C2-0.25C1),0]$
EA	Pas de croisement	$R=C1$
EB		$\text{Max}[(C1-0.25C2),0]$
EC	Pa=3 Pb=1	$\max\left[\left(\frac{PaC1 + PbC2}{4}\right) - 0.25\right], [0]$
ED		$\text{Min}[(C2+0.25C1),1]$
EE	Pas de changement	$R=R$

R = résultat de l'agrégation en utilisant les formules de la table des 50 triplets, en prenant seulement en compte les trois premières réponses et en ignorant S4

C1 et C2 = premier et deuxième critère

Troisième partie : Présentation des outils développés pour ArcGis/ArcMap

Comme nous l'avons vu dans les exemples des chapitres précédents, la première étape pour traiter les informations de manière floue est de transformer les valeurs d'un attribut classique en nombre flou:



Le **noyau** est l'ensemble des éléments qui appartiennent totalement au critère, c'est-à-dire dont le degré d'appartenance vaut 1.


Le **support** est l'ensemble des éléments appartenant, même très peu, au critère, c'est-à-dire dont le degré d'appartenance est différent de 0.

La **hauteur** d'un ensemble flou est définie par le degré d'appartenance maximum. Nous allons utiliser 1 comme valeur par défaut, mais il est clair qu'il y a des situations où la valeur maximum d'un critère n'est pas synonyme de satisfaction maximum (1).

Le lien de téléchargement d'une commande ArcMap qui permet de créer un nouvel attribut, à partir d'un attribut existant, et répondant aux critères d'un nombre flou est <http://blog.nasca.fr/index.php/logique-floue/>.

La commande Critère Souple numérique

Un critère est un champ numérique d'une couche d'une classe d'entités. Le contenu de ce champ sera transformé dans un autre champ, numérique aussi, mais comportant des valeurs dans la plage 0 à 1. Cette transformation est faite pour faire coïncider les valeurs du champ d'origine avec un degré de satisfaction du critère : 1 correspond à une satisfaction totale, 0 à une insatisfaction totale, les autres valeurs étant des satisfactions partielles.

Une fois la commande installée, le bouton  affiche l'interface suivante :

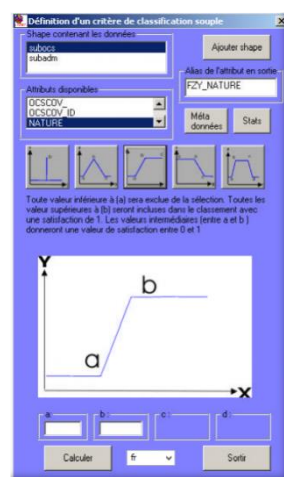


Figure 19 Fenêtre de la commande de définition d'un critère flou

La commande fonctionne sur des fichiers de formes (shapefiles) et sur des Geodatabases fichiers. Elle **ne fonctionne pas** sur des **Geodatabases personnelles (.mdb)**, des **Geodatabases Entreprise**, et des bases **Spatialite**. Ceci est dû au fait que la commande écrit un fichier de métadonnées dans le Workspace de la couche. Ceci est possible avec les shapefiles et avec les geodatabases fichier (répertoire .gdb). Il n'y a pas de protection intégrée dans la commande! Si vous essayez de travailler avec une geodatabase personnelle, ça marchera...jusqu'au plantage!(désolés...).

Méthodes de transformation

La fenêtre propose cinq transformations d'un champ en critère souple (nombre flou) :

Type 1 : La première correspond en réalité à un nombre non flou, mais permet l'agrégation d'un critère non flou avec des critères flous. Le critère est défini de manière exacte. Toute valeur différente de celle entrée dans la fenêtre « a : » sera mise à 0.

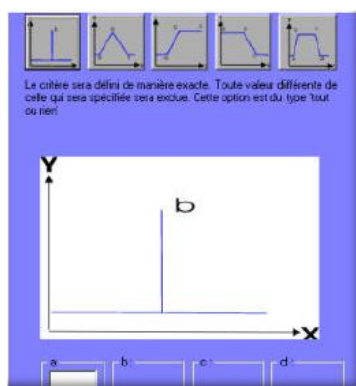


Figure 20 Transformation de type 1 (nombre exact non flou)

Type 2 : La deuxième permet de définir un nombre flou où seulement une valeur exacte (« b : ») donne entière satisfaction. Les valeurs inférieures à la borne « a : » et supérieures à la borne « c : » auront une satisfaction nulle, tandis que les valeurs entre « a : » et « b : » et entre « b : » et « c : » correspondront à des valeurs entre 0 et 1. Ces valeurs correspondent à la valeur de la courbe. Ceci correspond à un nombre exact avec une certaine incertitude.

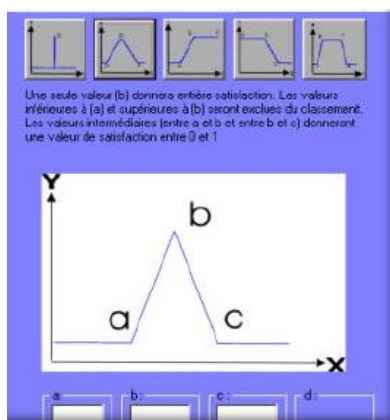


Figure 21 Transformation de type 2 (nombre exact avec incertitude)

Type 3 : La troisième permet d'établir un « seuil » flou. Toutes les valeurs inférieures à « a : » seront nulles, toutes les valeurs supérieures à « b : » seront égales à 1, tandis que les valeurs entre « a : » et « b : » auront des valeurs entre 0 et 1. Ceci correspond à la notion plus grand que, avec une certaine incertitude.

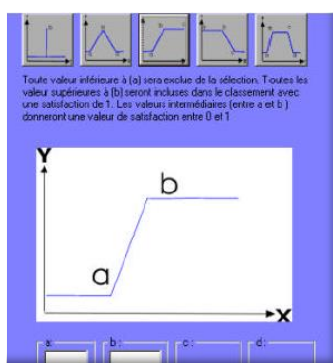


Figure 22 Transformation de type 3 (plus grand que)

Type 4 : La quatrième correspond à un seuil inversé. Toutes les valeurs inférieures à « a : » seront égales à 1, toutes les valeurs supérieures à « b : » seront nulles, tandis que les valeurs entre « a : » et « b : » auront des valeurs entre 0 et 1. Ceci correspond à la notion plus petit que avec une certaine incertitude.

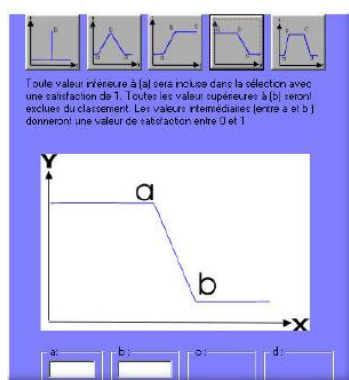


Figure 23 Transformation de type 4 (plus petit que)

Type 5 : La cinquième méthode permet de créer un critère flou classique. La plage de valeurs comprises entre « b : » et « c : » donnent totale satisfaction et ont une valeur de 1.

Les valeurs inférieures à « a : » et supérieures à « d : » seront exclues et auront une valeur de 0. Les valeurs entre « a : » et « b : » ainsi que celles entre « b : » et « d : » auront des valeurs entre 0 et 1. Ceci correspond au nombre flou type, avec son noyau et son support. Comme nous l'avons indiqué plus haut, la hauteur par défaut est 1.

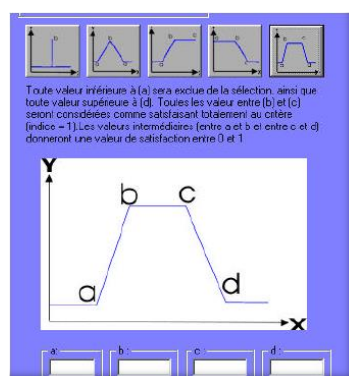


Figure 24 Transformation de type 5 (nombre classique)

Aides à la transformation : statistiques d'un champ


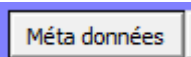
Le bouton  permet d'afficher les statistiques du champ sélectionné dans la fenêtre « attributs disponibles ». D'autre part il affiche la liste des valeurs différentes contenues dans le champ (limité à 100 valeurs uniques).



Figure 25 Statistiques du champ sélectionné

Aides à la transformation : métadonnées

Le bouton  affiche une fenêtre avec la description des critères souples contenus dans les couches de données.

La fenêtre suivante montre un exemple de métadonnées pour un critère souple :

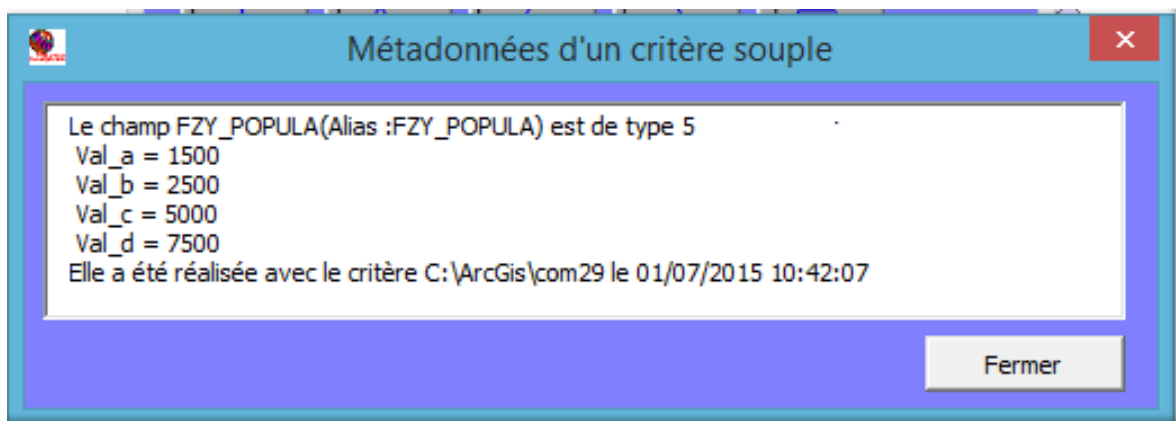


Figure 26 Métadonnées d'un critère souple

Les métadonnées sont stockées dans un fichier séparé (.fzy), géré par la commande.

La gestion de ces fichiers est automatique. Par exemple, l'élimination des métadonnées correspondantes à un critère souple si celui-ci est effacé manuellement de la table de la classe d'entités.

Par contre, si vous déplacez des couches dans des répertoires ou geodatabases différentes, vous devrez déplacer le fichier .fzy manuellement.

Langues disponibles

Une liste déroulante permet de sélectionner la langue à utiliser.

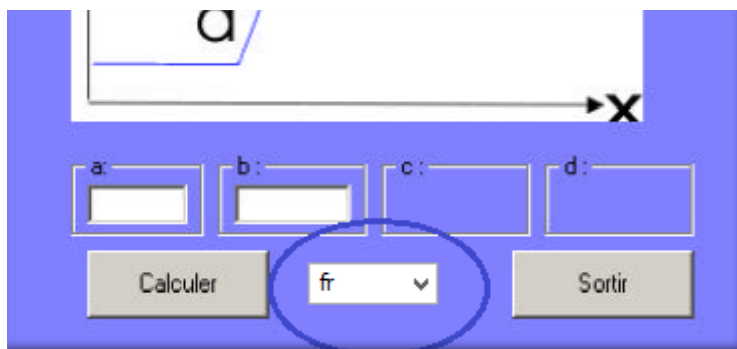


Figure 27 Définition de la langue de l'interface

Les langues disponibles sont :

- Français (par défaut)
- Anglais
- Espagnol
- Vietnamien

Même si la commande est censée passer d'une langue à une autre sans problème, selon la version de Windows utilisée, il est plus sûr de fermer et rouvrir la commande après avoir sélectionné une autre langue dans le menu déroulant.

Versions d'ArcGis

La commande peut être utilisée avec les versions d'ArcGis comprises entre 9.2 et 10.3, et avec les versions de Windows Xp, Vista W7 et W8.

Installation des outils

Les outils sont fournis sous la forme d'un fichier .dll accompagné d'une base de données Access. Copiez et décompressez le fichier de la commande dans un répertoire permanent de votre disque.

Pour l'installer vous devez passer par le menu Personnaliser -> Mode personnalisation d'ArcMap.

La fenêtre de personnalisation s'ouvre :

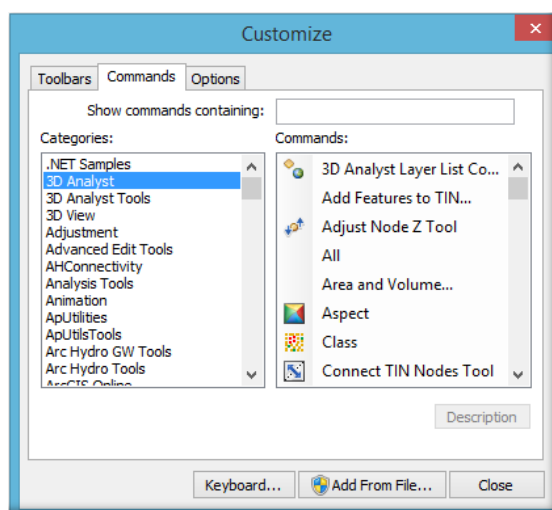


Figure 28 Fenêtre de personnalisation d'ArcMap

Dans l'onglet Commandes, cliquez sur le bouton Ajouter depuis un fichier. Pointez sur le fichier fuzzy_numberV92_103ML.dll que vous aurez préalablement copié dans un répertoire permanent de votre disque local AVEC le fichier Text.mdb livré en même temps. Ce fichier contient les différentes versions des langues utilisées. Ce n'est pas très élégant, mais ça permet à la commande de fonctionner sans adaptation particulière sous Xp,Vista,W7 et w8.

Cliquez sur OK. Le message suivant doit apparaître pour vous indiquer que l'installation s'est déroulée sans problème.

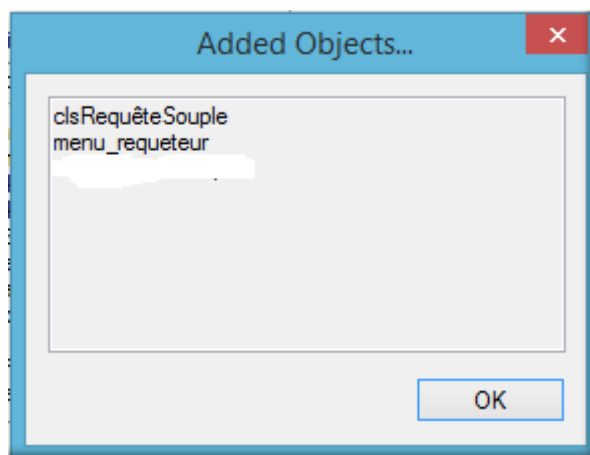


Figure 29 Fenêtre de message d'ajout de la commande terminé

Cliquez sur **OK**. Dans la fenêtre de Commandes disponibles vous serez positionné automatiquement sur la catégorie **NASCA commandes** et vous verrez l'outil disponible : **Critère souple**.

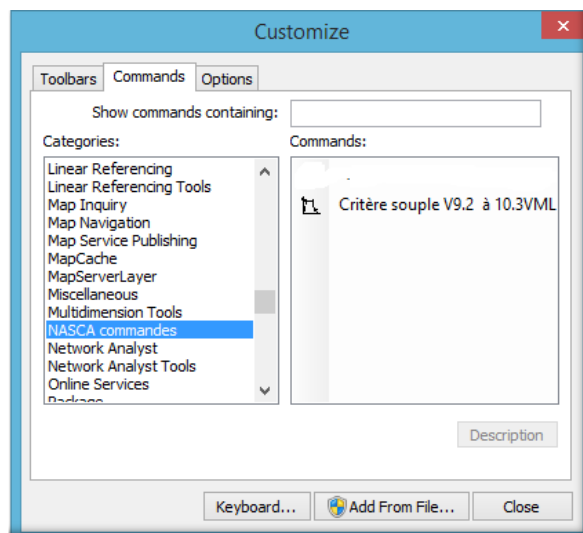


Figure 30 Ajout du bouton dans une barre d'outils ArcMap (1)

Pour pouvoir l'utiliser, cliquez-glissez sur l'icône de la commande et déposez-la dans une barre d'outil ouverte d'ArcMap.

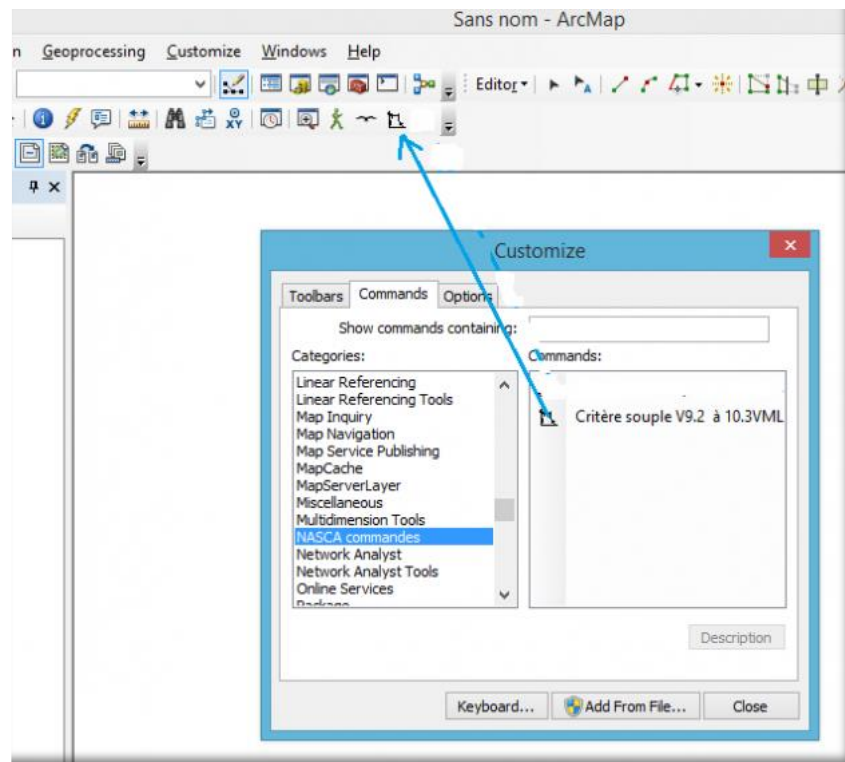


Figure 31 Ajout du bouton dans une barre d'outils ArcMap (2)

Commande d'agrégation de deux critères flous d'égale importance.

Dans ce chapitre nous allons voir comment croiser deux attributs flous, avec une commande que nous mettons à votre disposition. La commande « Agrégation souple », permet d'effectuer l'agrégation de deux critères flous.

L'interface propose trois questions à l'utilisateur permettant de définir la formule d'agrégation souhaitée. L'outil procède alors à l'union ou intersection des deux critères en produisant une nouvelle couche de données. Cette couche contient les données des deux couches en entrée plus un champ avec le résultat de l'agrégation calculée.


Il est indispensable de créer les critères flous avant de procéder à leur agrégation.

Dans le cas de critères non numériques, une autre commande (voir chapitre suivant) est nécessaire pour faire correspondre des codes numériques aux attributs textuels.

Pour effectuer le téléchargement de cette commande, allez à l'adresse suivante :

<http://blog.nasca.fr/index.php/logique-floue/>.

Utilisation de la commande

Le bouton  affiche l'interface suivante :

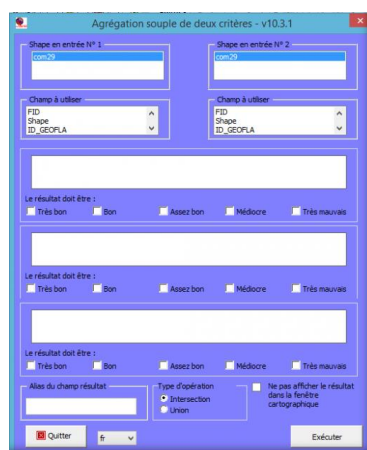


Figure 32 Fenêtre de la commande d'agrégation de deux critères souples

Vous devez sélectionner les couches à utiliser pour l'agrégation dans la liste des couches disponibles. La commande fonctionne avec des fichiers de formes (shapefiles) et des geodatabases fichier (gdb). Elle ne fonctionne pas avec des Geodatabases personnelles, des geodatabase entreprise et des bases Spatialite.

En dessous de chaque couche, vous devez sélectionner le champ, contenant un nombre flou, à utiliser pour l'agrégation.

Les couches de la liste sont automatiquement sélectionnées parmi les couches de type polygone. Les champs numériques sont affichés, à condition que ses valeurs soient comprises entre 0 et 1. Ceux qui commencent par fzy_ le sont automatiquement car ils ont été créés par la commande **Critère souple** (voir le chapitre précédent). Par contre vous pouvez avoir des champs flous ne résultant pas de la commande **Critère souple** et qui peuvent être utilisés pour l'agrégation.

Définition du modèle mathématique d'agrégation.

L'utilisateur doit cocher le résultat des trois agrégations proposées. La commande teste la cohérence des réponses car certaines combinaisons ne sont pas autorisées.

Par exemple le résultat de la troisième question ne peut pas être plus défavorable que celui de la première. En effet une satisfaction moyenne du premier critère (troisième question) ne peut pas entraîner un résultat plus défavorable qu'une insatisfaction totale (première question).

En réalité il n'y a que 50 triplets possibles comme résultat de ces questions.

Définition du type d'opération d'agrégation.

L'utilisateur peut choisir l'opération d'agrégation :

- **L'intersection** des deux thèmes : le thème résultant ne comportera que les zones de recouvrement des deux thèmes à agréger. Pour ces zones le résultat du champ calculé est le produit du modèle établi par les réponses aux trois questions;

2- **L'union** des deux thèmes : le thème résultant comportera l'étendue totale des deux thèmes en entrée. Les zones n'ayant qu'un seul thème auront un résultat d'agrégation égal à 0. Il pourra avoir alors deux types de zones avec le champ calculé à 0 : celles qui correspondent bien à un croisement de deux valeurs en entrée donnant comme résultat une insatisfaction totale, et celle où l'insatisfaction résulte d'un manque de données.

Affichage du résultat de l'agrégation

Vous avez une case à cocher qui permet de désactiver le chargement automatique du résultat dans la fenêtre cartographique d'ArcMap.

Si elle n'est pas cochée, la couche résultante est chargée avec un rendu préétabli :

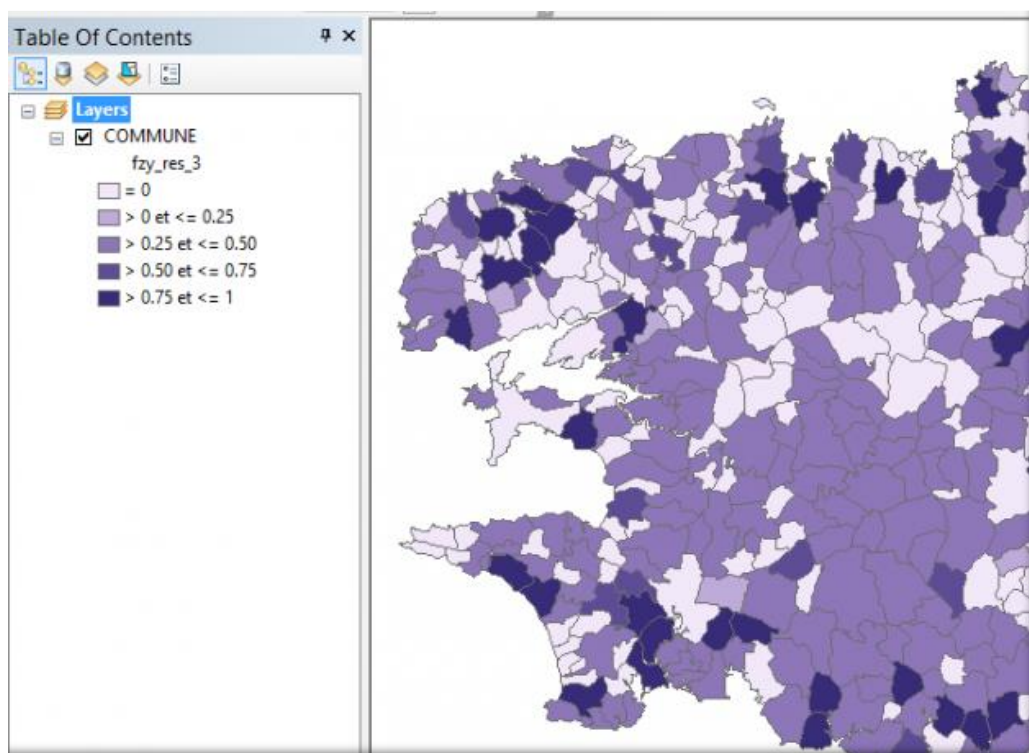


Figure 33 Résultat de la commande agrégation souple

Cinq classes sont calculées et affichées avec un dégradé de bleu :

- Les entités ayant comme résultat 0
- Les entités dont le résultat est compris entre 0 et 0.25
- Les entités dont le résultat est compris entre 0.25 et 0.5
- Les entités dont le résultat est compris entre 0.5 et 0.75
- Les entités dont le résultat est compris entre 0.75 et 1

Aide au suivi des processus: métadonnées

Vous disposez de deux boutons dans cette commande vous permettant de consulter les métadonnées des transformations floues subies par les critères sélectionnés. De plus, l'attribut flou résultant est aussi renseigné dans

les métadonnées de la couche. Pour le consulter, vous devez utiliser la commande *Critère flou* et cliquer sur cet attribut, puis sur le bouton **métadonnées**.

Les métadonnées sont stockées dans un fichier séparé (.fzy), géré par la commande.

La gestion de ces fichiers est automatique. Par exemple, l'élimination des métadonnées correspondantes à un critère souple si celui-ci est effacé manuellement de la table de la classe d'entités.

Par contre, si vous déplacez des couches dans des répertoires ou geodatabases différentes, vous devrez déplacer le fichier .fzy manuellement.

Langues disponibles

Une liste déroulante permet de sélectionner la langue à utiliser par les deux commandes.

Les langues disponibles sont :

- Français (par défaut)
- Anglais
- Espagnol
- Vietnamien

Selon la version de Windows utilisée, il est parfois nécessaire de fermer et rouvrir la commande pour que tous les textes soient dans la langue choisie.

Attention, sous certaines configurations de Windows 8 l'option **es** (espagnol) n'apparaît pas.

Versions d'ArcGis

Les commandes peuvent être utilisées avec les versions d'ArcGis comprises entre 9.2 et 10.3. E ce qui concerne les versions de Windows, les commandes fonctionnent sous Windows XP, Vista, W7 et W8.

Installation des outils

L'outil est fourni sous la forme d'un fichier .dll.

Pour l'installer vous devez passer par le menu **Personnaliser -> Mode personnalisation** d'ArcMap. La fenêtre de personnalisation s'ouvre :

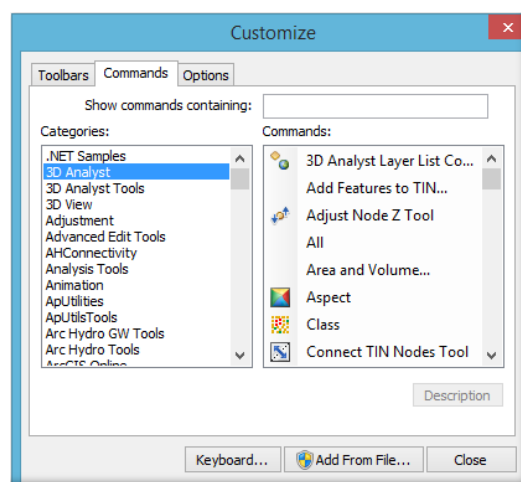


Figure 34 Fenêtre de personnalisation d'ArcMap

Dans l'onglet **Commandes**, cliquez sur le bouton **Ajouter depuis un fichier**. Pointez sur le fichier *fuzzy_agregationSA92_103ML.dll* que vous aurez préalablement copié dans un répertoire permanent de votre disque local, avec le fichier *Text.mdb* qui contient les différentes versions des langues.

Si vous avez déjà installé l'outil de Création d'un critère flou, vous n'avez pas à copier le fichier Text.mdb, il est commun aux deux commandes.

Cliquez sur **OK**. Le message suivant doit apparaître pour vous indiquer que l'installation s'est déroulée sans problème.

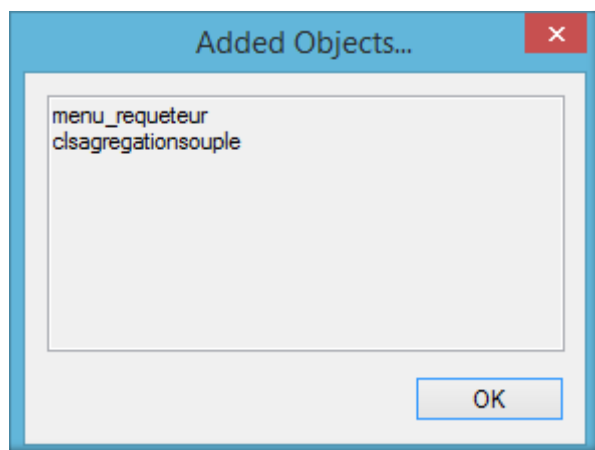


Figure 35 Fenêtre de message d'installation réussie

Cliquez sur **OK**. Dans la fenêtre de *Commandes* disponibles vous serez positionné automatiquement sur la catégorie *NASCA commandes* et vous verrez deux outils disponibles : **Agrégation souple** et **Critère souple** (si vous avez déjà installé la commande Critère souple).

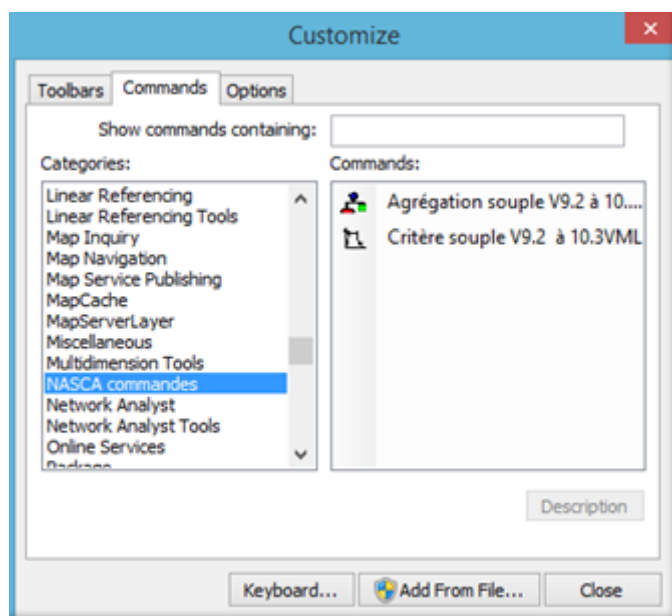


Figure 36 Ajout de la commande dans une barre d'outils d'ArcMap (1)

Pour pouvoir les utiliser, cliquez-glissez sur chacune des commandes et déposez-les dans une barre d'outil ouverte d'ArcMap.

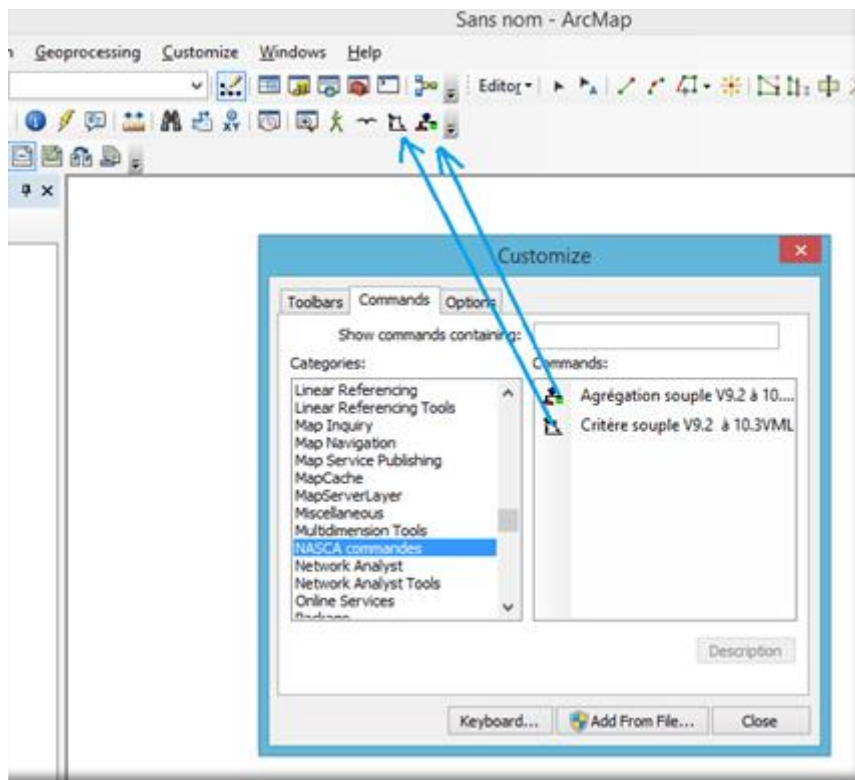


Figure 37 Ajout de la commande dans une barre d'outils d'ArcMap (2)

Problèmes connus

En plus de la disparition de l'espagnol dans la liste déroulante des langues possibles, le problème le plus récurrent concerne l'utilisation de la toolbox pour effectuer l'intersection ou l'union des couches en entrée.

Nous avons choisi de garder le même code, quelle qu'elle soit la version d'ArcMap. La commande tourne sous des versions allant de la 9.2 à la dernière, la 10.3.

Pour utiliser la toolbox, il est nécessaire que le programme trouve le répertoire **ArcToolbox** correspondant. Au fil des versions, le chemin d'accès a été modifié plusieurs fois, et, parfois, la commande n'arrive pas à le retrouver.

Si c'est votre cas, vous aurez un message explicite, vous l'indiquant, et vous invitant à rentrer le bon chemin dans un fichier texte, crée par la commande dans le même répertoire où vous avez placé le fichier .dll .

- Ouvrez le fichier **arcgishome.txt** avec le bloc-notes.
- Tapez le chemin d'installation d'ArcGis, entre guillemets, par exemple : "C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.3". Ne terminez pas le chemin avec un "\".
- Relancez la commande, tout doit fonctionner sans problème.

Commande d'agrégation de deux critères flous d'importance inégale (version expérimentale).

Nous avons implémenté une version de la commande « Agrégation souple » en prenant en compte deux critères mais d'importance inégale (voir pages 17 à 19). L'interface propose quatre questions à l'utilisateur permettant de définir la formule d'agrégation souhaitée. La commande utilise le tableau de la page 19.

Comme indiqué dans le paragraphe « Solution pratique », le résultat est rigoureux pour certaines combinaisons, mais pour d'autres combinaisons on utilise une approximation.

Le travail théorique n'étant pas achevé, cette commande permet la prise en compte de critères d'inégale importance de manière expérimentale.

Pour effectuer le téléchargement de cette commande, allez à l'adresse suivante :

<http://blog.nasca.fr/index.php/logique-floue/>.

La commande Critère Souple textuel

Dans ce chapitre nous verrons le dernier des outils que nous mettons à votre disposition, et qui permet de créer un attribut souple (nombre flou) à partir d'un attribut textuel contenant une classification des entités.


L'outil est composé d'une commande, « **Critère texte** », qui permet de transformer un critère textuel en un nombre flou.

Le critère d'origine est un champ textuel d'une couche d'une classe d'entités. Le contenu de ce champ comporte des valeurs classées qui seront transformées dans un autre champ, numérique, mais comportant des valeurs dans la plage 0 à 1. Cette transformation est faite pour faire coïncider les valeurs du champ d'origine avec un degré de satisfaction du critère : 1 correspond à une satisfaction totale, 0 à une insatisfaction totale, les autres valeurs étant des satisfactions partielles.

Pour effectuer le téléchargement de cette commande, allez à l'adresse suivante :

<http://blog.nasca.fr/index.php/logique-floue/>.

Utilisation de la commande "Critère texte"

Une fois la commande installée (voir plus loin), le bouton  affiche l'interface suivante :


L'interface est une fenêtre intitulée "Définition d'un critère de classification souple". Elle est divisée en plusieurs sections. À gauche, sous "Couche contenant les données", il y a un champ "LandUse". À droite, un bouton "Ajouter shape". En dessous, "Attributs disponibles" liste "LANDUSE". À droite, "Champs non texte" a un bouton "Population" et "Champs avec valeur 0-1" a un bouton "Méta données". En dessous, "Nombre de niveaux de satisfaction" a des boutons radio pour 3, 5 et 7 (le 7 est sélectionné). À droite, "Alias de l'attribut en sortie" a un champ vide. En bas, il y a une liste de termes : Chamos, Très bon, Bon, Moyen, Médiocre, Très mauvais, Chamos. À gauche de cette liste est un bouton "Fermer" et à droite un bouton "Calculer". Au centre, il y a des boutons ">>" et "<<".

Figure 38 Interface de la commande Critère Texte

Attention : La commande fonctionne sur des fichiers de formes (shapefiles) et sur des Geodatabases fichiers. Elle ne fonctionne pas sur des Geodatabases personnelles.

La fenêtre se divise en deux panneaux :

- Le premier permet de sélectionner l'attribut à transformer en nombre flou,
- Le deuxième permet de définir les valeurs de transformation.

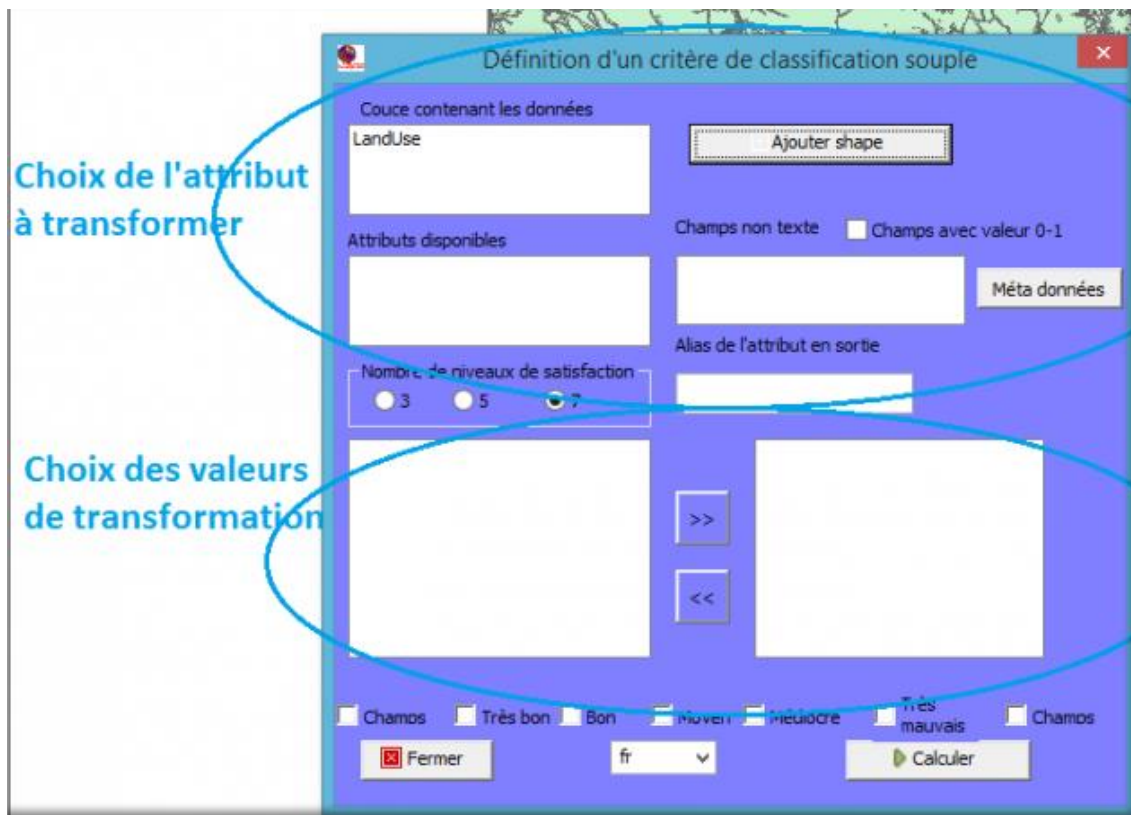


Figure 39 Fenêtre de la commande de définition d'un critère souple à partir d'un champ texte

Choix de l'attribut à transformer

La fenêtre « **Couche contenant les données** » affiche les différentes couches chargées dans la fenêtre d'ArcMap.

En sélectionnant une couche dans cette fenêtre, vous obtenez la liste des attributs textuels disponibles dans cette couche.

La fenêtre « **Champs non texte** » affiche les autres attributs présents dans la table attributaire de la couche sélectionnée mais qui ne sont pas des champs de type Texte. La commande filtre automatiquement les champs de type OBJECTID, GRIDCODE, shape_area, etc.

Vous pouvez aussi cocher la case « **Champs avec valeur 0-1** ». Dans ce cas, seuls les champs numériques dont les valeurs présentes dans la table sont comprises entre 0 et 1 seront affichés.

Attention ! Pour ce faire, la commande calcule les statistiques de chaque attribut numérique. Ce processus prend pas mal de temps, en fonction du nombre de champs numériques et surtout en fonction du nombre d'enregistrements. Utilisez cette option avec parcimonie.

Le bouton **métadonnées** permet d'afficher les métadonnées (critère, date, etc.) d'un attribut flou présent dans la table attributaire. Pour l'utiliser, sélectionnez le champ dans la liste des champs non texte, puis cliquez sur le bouton métadonnées.

Une fois sélectionné un attribut dans la liste **Attributs disponibles**, vous verrez la liste des valeurs différentes présentes dans la table attributaire.

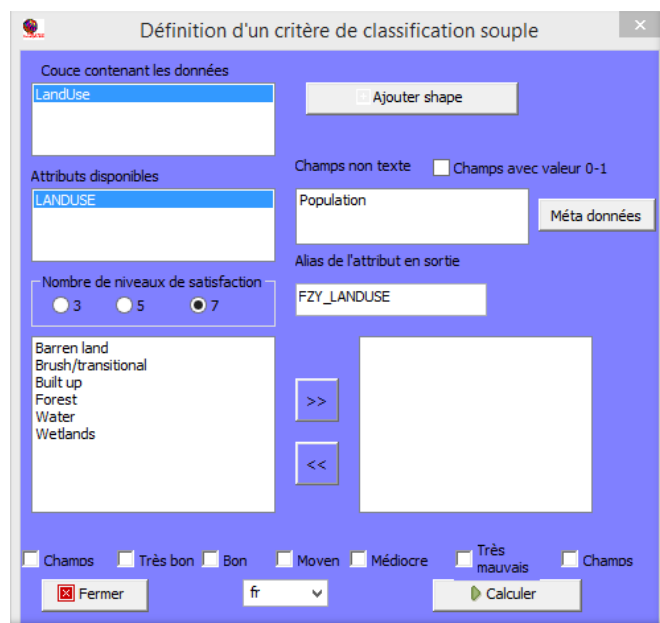


Figure 40 Affichage de la classification présente dans la table attributaire

La commande vous propose aussi un nom pour le nouvel attribut à créer. Vous pouvez le modifier, en sachant qu'il sera limité à 10 caractères s'il s'agit du traitement d'un fichier de formes (shapefile).

Choix des valeurs de transformation

La définition de la transformation se fait en quatre étapes :



Figure 41 Configuration de la table de transformation du critère

La première concerne la définition du nombre de classes de satisfaction à utiliser (1).

Vous pouvez choisir 3, 5 ou 7 classes. En fonction du choix, le nombre de classes disponibles (3) change automatiquement.

Si vous sélectionnez 3 classes la commande proposera les transformations suivantes :

- Excellent sera transformée en valeur =1
- Moyen sera transformée en valeur = 0.5
- Exclue sera transformée en valeur =0

Si vous sélectionnez 5 classes la commande ajoute les options :

- Bon qui sera transformée en valeur = 0.75
- Médiocre qui sera transformée en valeur=0.25

Si vous sélectionnez 7 classes la commande proposera les transformations suivantes :

- Excellent qui sera transformée en valeur =1
- Très bon qui sera transformée en valeur=0.83
- Bon qui sera transformée en valeur = 0.67
- Moyen qui sera transformée en valeur = 0.5
- Médiocre qui sera transformée en valeur=0.33
- Très mauvais qui sera transformée en valeur=0.17
- Exclue qui sera transformée en valeur =0

Une fois choisi le nombre de classes, sélectionnez les valeurs dans la fenêtre de gauche(2), cochez l'indice de satisfaction que vous souhaitez affecter à la sélection (3), puis cliquez sur le bouton >> pour passer les valeurs dans la fenêtre de droite.

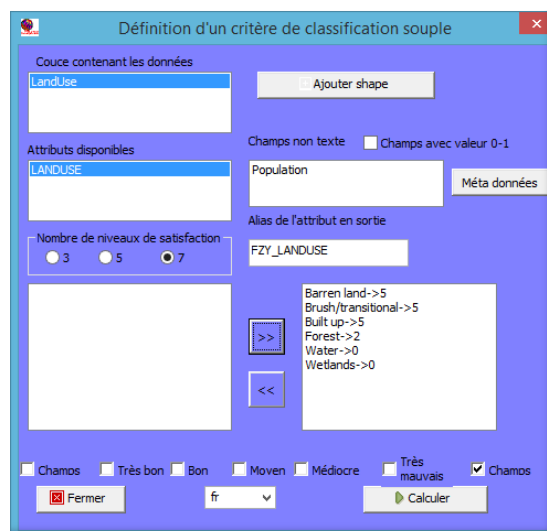


Figure 42 Fenêtre de configuration une fois terminée

Le chiffre entre 0 et 6 indique le choix affecté à chaque valeur

- 0 ->Exclue
- 1 ->Très mauvais
- 2 ->Médiocre
- 3 ->Moyen
- 4 ->Bon
- 5 ->Très bon
- 6 ->Excellent

Vous pouvez annuler un ou plusieurs choix en sélectionnant la valeur dans la fenêtre de droite et en cliquant sur le bouton <<. Les valeurs sont remises dans la fenêtre de gauche.

Aides à la transformation : métadonnées

Méta données

Le bouton affiche une fenêtre avec la description des critères souples contenus dans les couches de données.

La fenêtre suivante montre un exemple de métadonnées pour un critère souple :

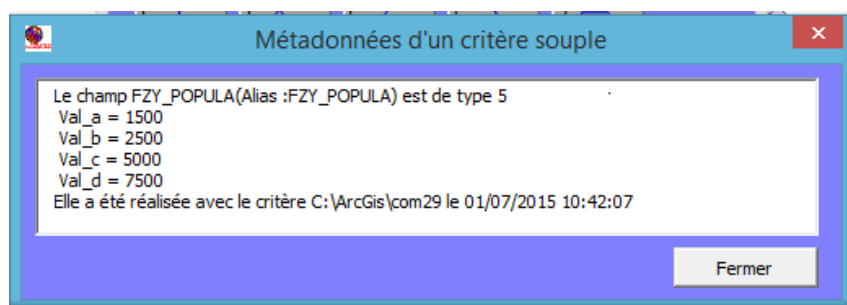


Figure 43 Fenêtre des métadonnées d'un critère souple

Les métadonnées sont stockées dans un fichier séparé (.fzy), géré par la commande.

La gestion de ces fichiers est automatique. Par exemple, l'élimination des métadonnées correspondantes à un critère souple si celui-ci est effacé manuellement de la table de la classe d'entités.

Par contre, si vous déplacez des couches dans des répertoires ou geodatabases différentes, vous devrez déplacer le fichier .fzy manuellement.

Un critère de type texte sera indiqué par un type 999. Actuellement, la table de transformation n'est pas stockée dans les métadonnées.

Langues disponibles

Une liste déroulante permet de sélectionner la langue à utiliser.

Les langues disponibles sont :

- Français (par défaut)
- Anglais
- Espagnol
- Vietnamien

Même si la commande est censée passer d'une langue à une autre sans problème, selon la version de Windows utilisée, il est plus sûr de fermer et rouvrir la commande après avoir sélectionné une autre langue dans le menu déroulant.

Versions d'ArcGis

Les commandes peuvent être utilisées avec les versions d'ArcGis comprises entre 9.2 et 10.3.

Installation de la commande

Les outils sont fournis sous la forme d'un fichier .dll. Pour l'installer vous devez passer par le menu **Personnaliser -> Mode personnalisation** d'ArcMap. La fenêtre de personnalisation s'ouvre :

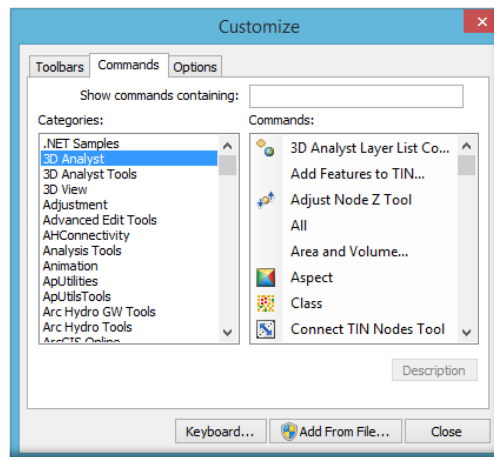


Figure 44 Fenêtre de personnalisation d'ArcMap

Dans l'onglet Commandes, cliquez sur le bouton Ajouter depuis un fichier. Pointez sur le fichier **fuzzy_textV92_103ML.dll** que vous aurez préalablement copié dans un répertoire permanent de votre disque local **AVEC** le fichier Text.mdb livré en même temps. **Si vous avez déjà installé les commandes précédentes, remplacez le fichier existant par celui-ci.** Ce fichier contient les différentes versions des langues utilisées. Ce n'est pas très élégant, mais ça permet à la commande de fonctionner sans adaptation particulière sous Xp, Vista, W7 et w8.

Cliquez sur OK. Le message suivant doit apparaître pour vous indiquer que l'installation s'est déroulée sans problème.

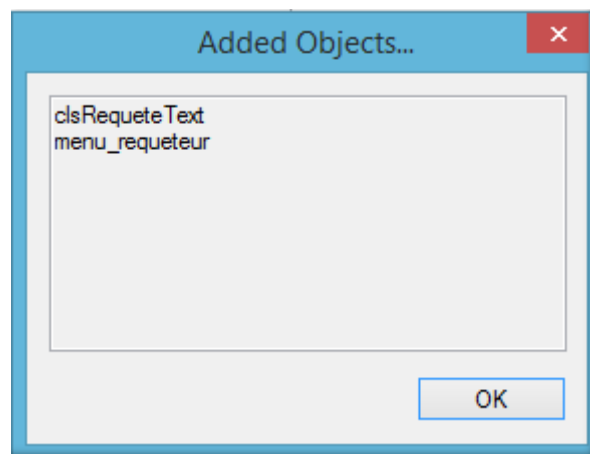


Figure 45 Fenêtre de message d'installation réussie

Cliquez sur **OK**. Dans la fenêtre de Commandes disponibles vous serez positionné automatiquement sur la catégorie **NASCA commandes** et vous verrez l'outil disponible : **Critère Texte**.

Pour pouvoir l'utiliser, cliquez-glissez sur l'icône de la commande et déposez-la dans une barre d'outil ouverte d'ArcMap.

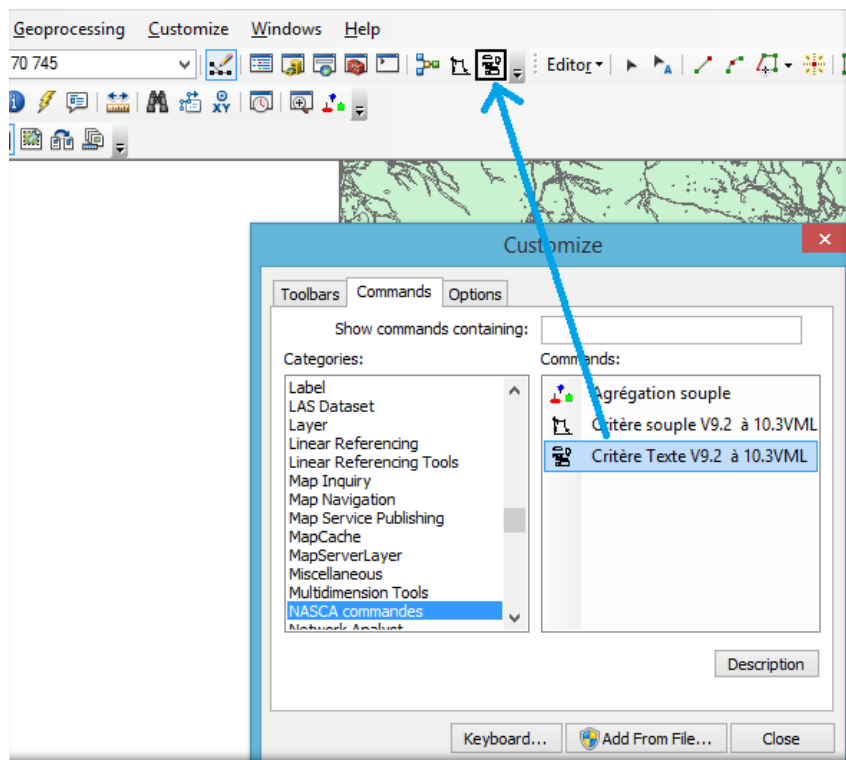


Figure 46 Ajout de la commande dans une barre d'outils ArcMap

Quatrième partie : Application de la logique floue à l'élaboration d'une carte d'aptitude

Une carte d'aptitude est la réponse à la question : *Où se situe le meilleur emplacement pour une nouvelle ressource ?* Le résultat que vous recherchez est une carte représentant tous les sites candidats (classés du plus approprié au moins approprié) qui conviendraient à l'installation d'une nouvelle ressource. Cette carte est une carte d'aptitude classée car elle montre une plage relative de valeurs indiquant le degré d'adéquation de chaque emplacement sur la carte, en tenant compte des critères que vous entrez dans votre étude.

Nous allons suivre le tutoriel Spatial Analyst d'ArcGis :

http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/pdf/tutorial_spatial_analyst.pdf

ainsi que

<http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00nt00000002000000>)

en parallèle: en utilisant les outils classiques basés sur la logique booléenne, et en utilisant les outils basés sur des critères souples (nombres flous). Nous pourrions ainsi voir ce qu'apportent réellement ces nouveaux outils et en quoi cette démarche se démarque du processus classique.

Données du didacticiel

Les données requises figurent sur le CD ArcGIS Desktop. Après avoir exécuté l'installation d'ArcGIS, dans la boîte de dialogue Composants d'installation supplémentaire, activez l'option d'installation des données du didacticiel ArcGIS. Dans l'assistant Installation des données des didacticiels ArcGIS, activez l'option d'installation des données Spatial Analyst (le chemin d'accès d'installation par défaut est C:\arcgis\ArcTutor\SpatialAnalyst). Pour suivre cet exemple il vous faut une licence Spatial Analyst.

Ces données, la plupart du type raster, permettent de réaliser l'exercice en suivant la démarche classique (booléenne). Les outils que nous présentons travaillent sur des couches vecteur. Il faut donc vectoriser les couches raster pour suivre la démarche basée sur des critères souples (nombres flous). Dans cette démarche, vous n'avez pas besoin de licence Spatial Analyst mais vous devrez avoir installé les trois outils de logique floue décrits dans les chapitres précédents.

Pour vous éviter le travail de vectorisation nous mettons à votre disposition les données nécessaires à cet exercice à l'adresse <http://www.nasca.fr/downloads/stowe.zip>.

Scénario du didacticiel ESRI

La ville de Stowe, Vermont, USA, a connu une augmentation substantielle de la population. Les données démographiques suggèrent que cette augmentation est liée aux familles avec enfants qui déménagent vers la région, profitant des nombreux centres de loisirs situés dans l'entourage. Il a été décidé qu'une nouvelle école doit être créée pour décharger les écoles existantes et en tant qu'urbaniste, vous avez été chargé de rechercher un site potentiel.

Décomposition du problème

Une fois le problème énoncé, nous le scindons jusqu'à identifier les étapes nécessaires pour le résoudre. Ces étapes correspondent aux objectifs à remplir.

Lorsque nous définissons les objectifs, nous devons penser à comment nous allons les évaluer. Comment va-t-on évaluer la meilleure zone pour le nouvel établissement ? Dans cet exemple de recherche de site, il est préférable de le situer près d'installations récréatives, car la plupart des familles qui ont emménagé dans l'agglomération ont de jeunes enfants qui souhaitent avoir des activités de loisirs. De plus, il est important d'être à l'écart des écoles déjà présentes de manière à les répartir dans toute la ville. L'établissement doit être construit sur un terrain approprié qui soit relativement plat. Davantage d'objectifs pourraient bien sûr être inclus dans cet exemple, comme la recherche d'une surface assez grande pour l'école et son terrain, ou la recherche d'une surface avec la plus haute densité d'enfants d'un âge donné, mais ce modèle est simplifié pour l'exemple.

Pour atteindre ces objectifs, nous devons connaître les informations suivantes :

- Où sont les emplacements dont le terrain est relativement plat ?
- L'utilisation du sol est-elle appropriée dans ces emplacements ?
- Ces emplacements sont-ils assez proches d'installations récréatives ?
- Sont-ils assez éloignés des écoles existantes ?

Où sont les emplacements dont le terrain est relativement plat ?

Pour trouver les zones dont le terrain est relativement plat, vous devez créer une carte qui affiche la pente du terrain. Ici, le modèle de processus passe par le calcul de la pente du terrain. A partir de la couche Altitude, l'outil **Pente** de la toolbox Spatial Analyst, permet de calculer la pente pour chaque cellule du raster. Nous avons vectorisé ce résultat, avec l'outil **Outils de conversion->De Raster -> Raster vers polygone**. Vous trouverez cette couche dans les données de l'exercice avec le nom **PentePolys**.

L'utilisation du sol est-elle appropriée dans ces emplacements ?

Vous devez déterminer les caractéristiques d'un type d'utilisation du sol approprié sur lequel construire l'école. Ce processus est subjectif et fonction de votre problème. Ici, les terres agricoles sont considérées comme les terrains de construction les moins chers et donc privilégiés. Viennent ensuite les terres stériles, puis les zones à arbustes, les forêts et les zones déjà construites. Aucun modèle de processus n'est impliqué ici, seulement l'identification du jeu de données d'utilisation du sol en entrée et la détermination du type d'utilisation du sol le plus approprié. Les données d'utilisation du sol (Landuse) ont été vectorisées avec la même commande (**Outils de conversion->De Raster -> Raster vers polygone**). Vous trouverez le résultat dans la couche **OccupationSolPolys**.

Ces emplacements sont-ils assez proches d'installations récréatives ?

Vous savez qu'il est préférable de construire l'école à proximité d'installations récréatives. Vous devez donc créer une carte qui affiche les distances par rapport à ces installations pour situer éventuellement l'école dans les zones avoisinantes. Ici, le modèle de processus passe par le calcul des distances depuis les installations récréatives. Pour calculer les distances en ligne droite (distance Euclidienne) nous utilisons l'outil **Spatial Analyst -> Distance -> Distance Euclidienne**, puis nous vectorisons le résultat pour obtenir la couche **DistanceRecre**.

Sont-ils assez éloignés des écoles existantes ?

Il est préférable de situer l'école à l'écart des établissements déjà présents pour éviter d'empiéter sur leurs zones de captation. Vous devez donc créer une carte indiquant la distance par rapport aux écoles existantes. Ici, le modèle de processus passe par le calcul de la distance par rapport aux écoles existantes. Pour calculer les distances en ligne droite (distance Euclidienne) nous utilisons l'outil **Spatial Analyst -> Distance -> Distance Euclidienne**, puis nous vectorisons le résultat pour obtenir la couche **DistanceEcoles**.

Pour démarrer la production de la carte d'aptitude en suivant la procédure classique du didacticiel Spatial Analyst vous devriez avoir la configuration suivante:

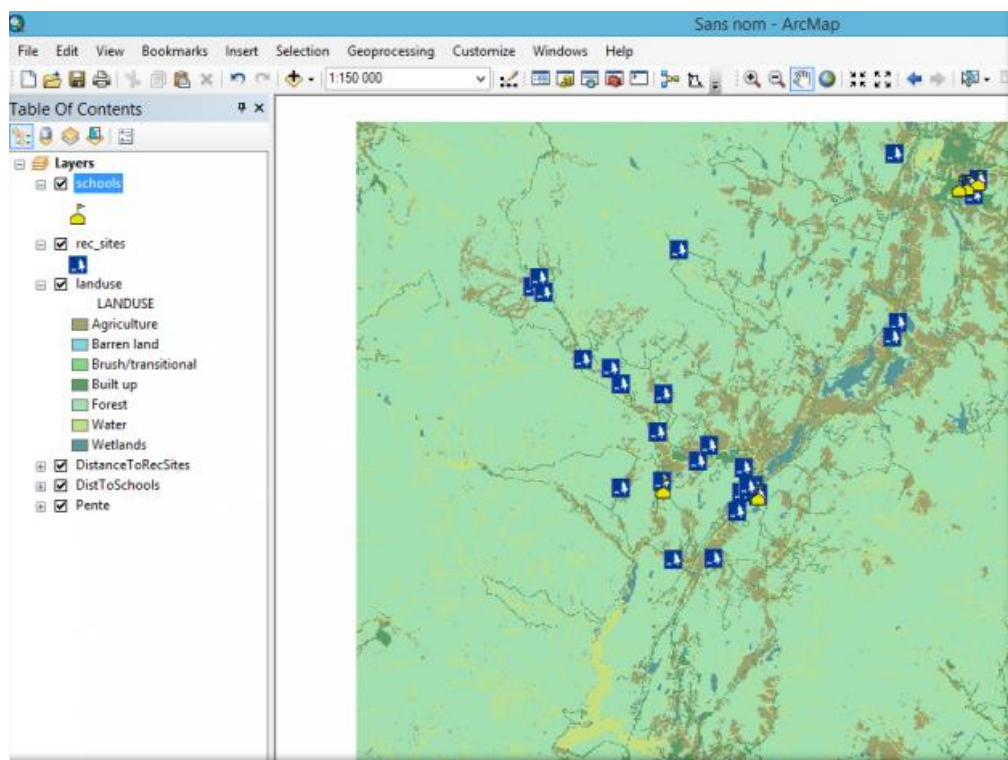


Figure 47 Configuration de départ de l'exercice avec Spatial Analyst

Pour démarre la production de la carte d'aptitude en suivant la procédure basée sur la logique floue, vous devriez avoir la configuration suivante:

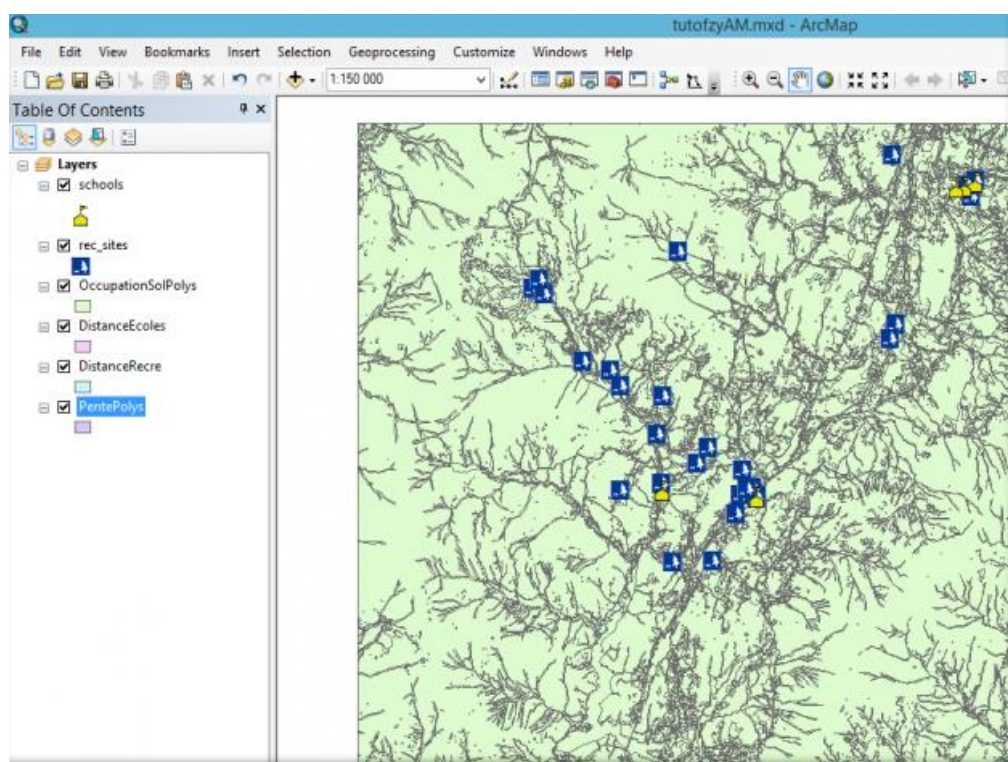


Figure 48 Configuration de départ pour le didacticiel Logique Floue

Reprenons textuellement le didacticiel Spatial Analyst :

" ...

Création d'une carte d'aptitude

La création d'une carte d'aptitude vous permet d'obtenir une valeur d'aptitude pour chaque emplacement sur la carte.

Une fois que vous avez créé les couches nécessaires (dans cet exemple, les couches sont Pente, Distance par rapport aux installations récréatives, Distance par rapport aux écoles et Utilisation du sol) à votre analyse, comment ces couches créées sont-elles associées pour créer une carte classée des surfaces potentielles pour situer l'école ? Vous devez comparer les valeurs des classes entre les couches. Pour ce faire, une méthode consiste à assigner des valeurs numériques aux classes contenues dans chaque couche de la carte ou à les reclassifier.

Chaque couche de la carte est classée par son degré d'aptitude en tant qu'emplacement pour la nouvelle école. Par exemple, vous pouvez affecter une valeur à chaque classe de chaque couche, selon une échelle de 1 à 10, 10 étant le meilleur classement.

Cette échelle s'appelle une "échelle d'aptitude". Utilisez la valeur NoData pour écarter les zones qui ne doivent pas être prises en compte. Le fait d'affecter à toutes les mesures la même échelle numérique leur donne la même importance dans la détermination des emplacements les plus appropriés. Au départ, le modèle est élaboré de cette manière. Par la suite, lorsque vous testerez d'autres scénarios, des facteurs de pondération pourront être appliqués aux couches pour approfondir l'exploration des données et de leurs relations.

Création d'échelles d'aptitude

Comme le montre cet exemple, de nombreuses échelles sont synthétiques. Il s'agit souvent d'un classement, du plus approprié au moins approprié. Ce classement s'appuie sur quelque chose de mesurable, comme la distance par rapport aux écoles, mais, en définitive, il s'agit d'une mesure subjective déterminant le degré d'aptitude d'une certaine distance par rapport à une école pour placer une autre école.

Il existe des échelles naturelles qui sont communément associées à certains objectifs. Le coût en est un bon exemple, mais doit être défini suffisamment en détail. Dans une étude sur l'aptitude d'un bâtiment, un objectif de coût immobilier faible serait mesuré sur une échelle en dollars. Veillez à définir l'échelle de manière adéquate. Pour un élément aussi connu que le dollar, il faut prendre en compte d'autres variables, par exemple s'il s'agit de dollars américains, australiens ou d'un taux de change entre devises.

De nombreuses échelles ne sont pas des relations linéaires bien qu'elles soient souvent présentées de cette manière pour gagner du temps et réaliser des économies ou parce que toutes les options n'ont pas été envisagées. Par exemple, si vous affectez une échelle à une distance de déplacement, un déplacement de 1,5 ou 10 kilomètres ne serait pas classé comme une aptitude de 10, 5 et 1 si le déplacement se faisait à pied. Certaines personnes jugeront qu'une marche de 5 kilomètres n'est que deux fois plus fatigante qu'une marche de 1 kilomètre, et d'autres dix fois plus.

Lorsque vous élaborez une échelle d'aptitude, demandez l'avis de personnes bien informées pour identifier les deux extrêmes d'un scénario et autant de points intermédiaires que possible. Ces personnes doivent bien connaître l'objectif à l'étude. Par exemple, il est plus intéressant de demander à des usagers leur opinion sur le temps qu'ils souhaiteraient mettre pour se rendre de leur domicile à leur travail, que de demander à un agent les heures à laquelle la circulation est la plus mauvaise.

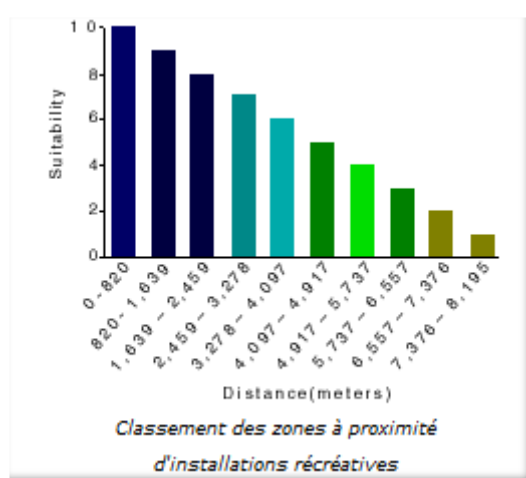
... "

Le problème est très bien posé. Voyons comment répondre en utilisant les outils classiques.

Préparation des données avec les outils de Spatial Analyst et les outils basé sur la logique floue.

Classement des zones à proximité d'installations récréatives avec l'outil Reclassification

Pour situer l'école près des installations récréatives, vous devez connaître la distance qui les sépare. L'outil Distance euclidienne de Spatial Analyst crée ce type de carte en calculant la distance en ligne droite (euclidienne) entre un emplacement et les installations récréatives les plus proches. Il en résulte un jeu de données raster dans lequel chaque cellule représente la distance aux installations récréatives les plus proches. Pour donner un rang à la carte, utilisez l'outil Reclassification. Puisqu'il est souhaitable de situer l'école près des installations récréatives, affectez la valeur 1 aux distances éloignées de ces installations et la valeur 10 aux distances qui s'en rapprochent. Puis classez les distances intermédiaires linéairement comme le montre l'illustration suivante.



Nous utilisons l'outil Reclassification de la boîte à outils **Spatial Analyst->Classer**.

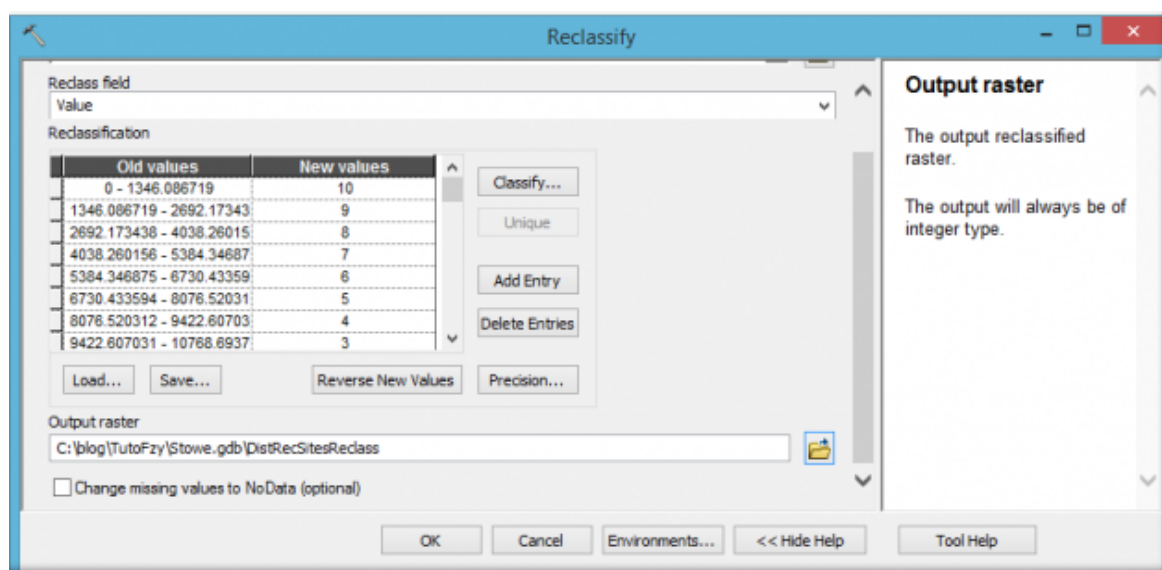


Figure 49 Fenêtre de l'outil Reclassification de Spatial Analyst

Etapes :

- Ouvrez l'outil Reclassification
- Comme couche en entrée indiquez DistanceToRecSites
- Acceptez la valeur par défaut pour le paramètre Champ de reclassement afin d'utiliser le champ Valeur.
- Cliquez sur Classer.

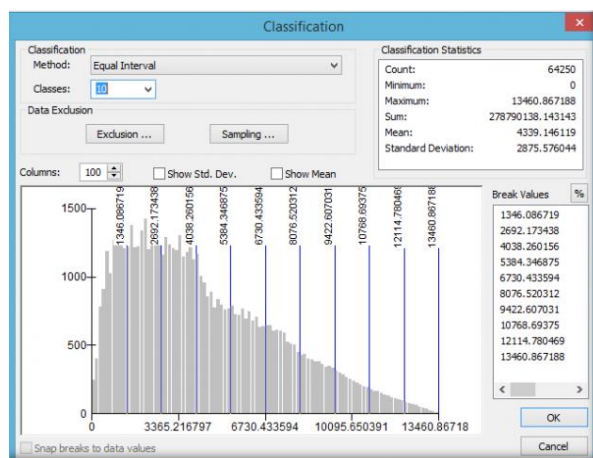


Figure 50 Fenêtre de définition de la méthode de classification

- Définissez la Méthode sur Intervalle égal (nombre variable) et le nombre de Classes sur 10.
- Cliquez sur OK.
- Cliquez sur Inverser les nouvelles valeurs.

La sélection de l'option *Inverser les nouvelles valeurs* attribue une nouvelle valeur plus élevée aux distances proches des centres de loisirs, puisque ces zones sont plus désirables.

- Donnez un nom pour le paramètre Raster en sortie: DistRecSitesReclass
- Cliquez sur OK.

Le résultat obtenu est le suivant:

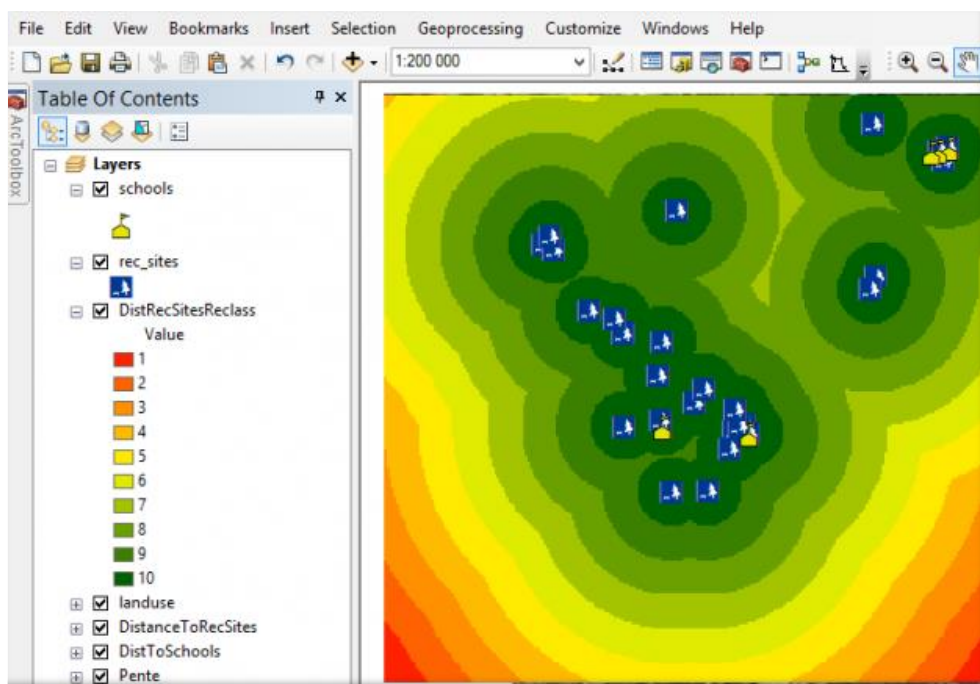


Figure 51 Résultat de la reclassification des distances aux sites récréatifs

Pour les géomaticiens que nous sommes, ce résultat nous apparaît tout à fait cohérent. Nous avons une zone d'étude, des distances concentriques par rapport à nos cibles, et un dégradé régulier de valeurs au fur et à mesure que nous nous éloignons de nos cibles.

Mais la question est: est-ce que ça répond à la question posée?

Les zones vertes, c'est à dire les zones les plus propices selon ce critère, dépendent de l'emplacement des sites récréatifs. Mais pas seulement. Elles dépendent de notre zone d'étude: on aurait choisi une zone plus vaste, elles seraient plus grandes, on aurait limité notre zone, elles seraient plus petites. Elles dépendent aussi de notre choix arbitraire de faire 10 zones. On aurait choisis d'en faire 7, elles seraient plus grandes, et si on avait choisi d'en faire 12 elles seraient plus petites.

La question posée est de trouver des sites, car les parents souhaitent que la nouvelle école soit proche d'un site récréatif. En tant que parent, je vais trouver qu'un site récréatif est proche ou loin en fonction de bien de critères personnels, mais sûrement pas en fonction de la surface totale du projet d'aménagement!

Classement des zones à proximité d'installations récréatives avec l'outil Critère souple

La satisfaction du critère Proximité d'un site récréatif doit être posée aux acteurs. On pourra ainsi comprendre que l'on considère "Proche" un site auquel on peut aller à pied avec ses enfants, ou à la rigueur en voiture mais avec un trajet maximum de 5 à 10 minutes.

Si on traduit ceci en distance, on pourra dire que l'optimum de satisfaction se trouve entre 0 et 1000m (parcours à pied) et que, à partir de 7 km (parcours de 10' en voiture) on considère que le site est "Loin".

On utilise la commande Critère souple sur la couche DistanceRecre

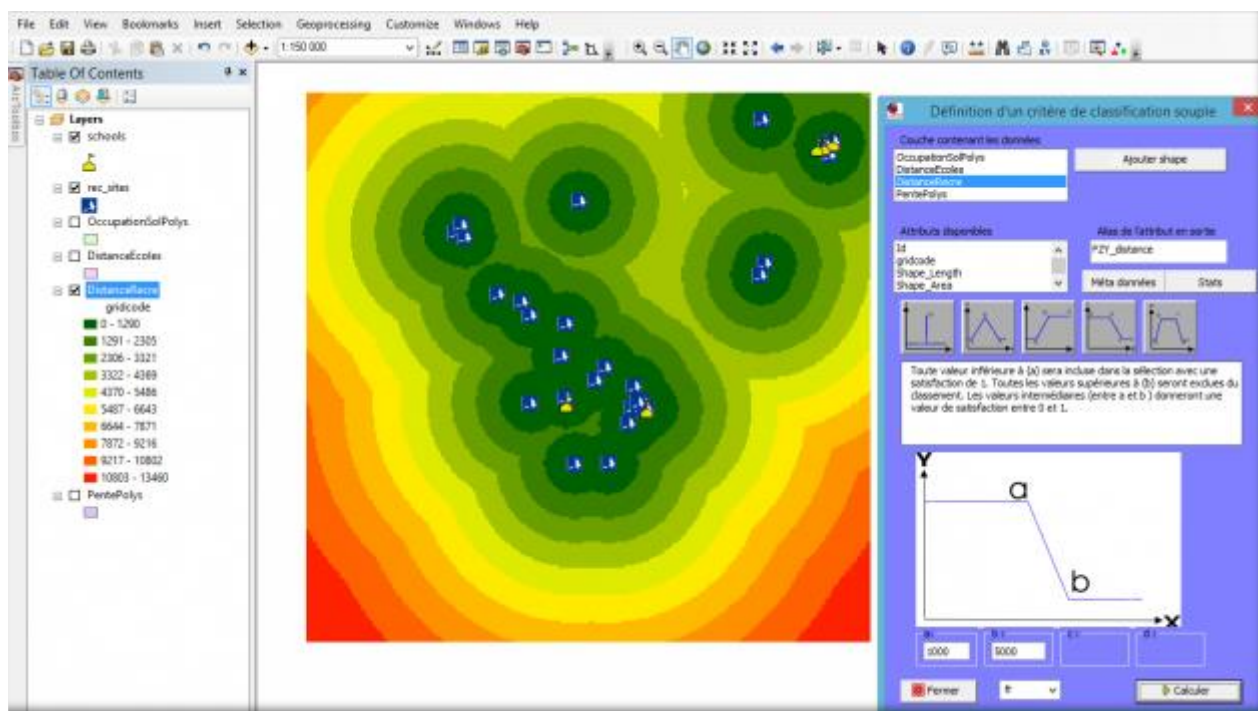


Figure 52 Commande Critère souple sur la couche DistanceRecre

Nous sélectionnons l'attribut Gridcode et définissons une satisfaction maximale jusqu'à 1000m (a) et une satisfaction nulle à partir de 5000 m (b).

On clique Calculer, et on obtient le résultat suivant:

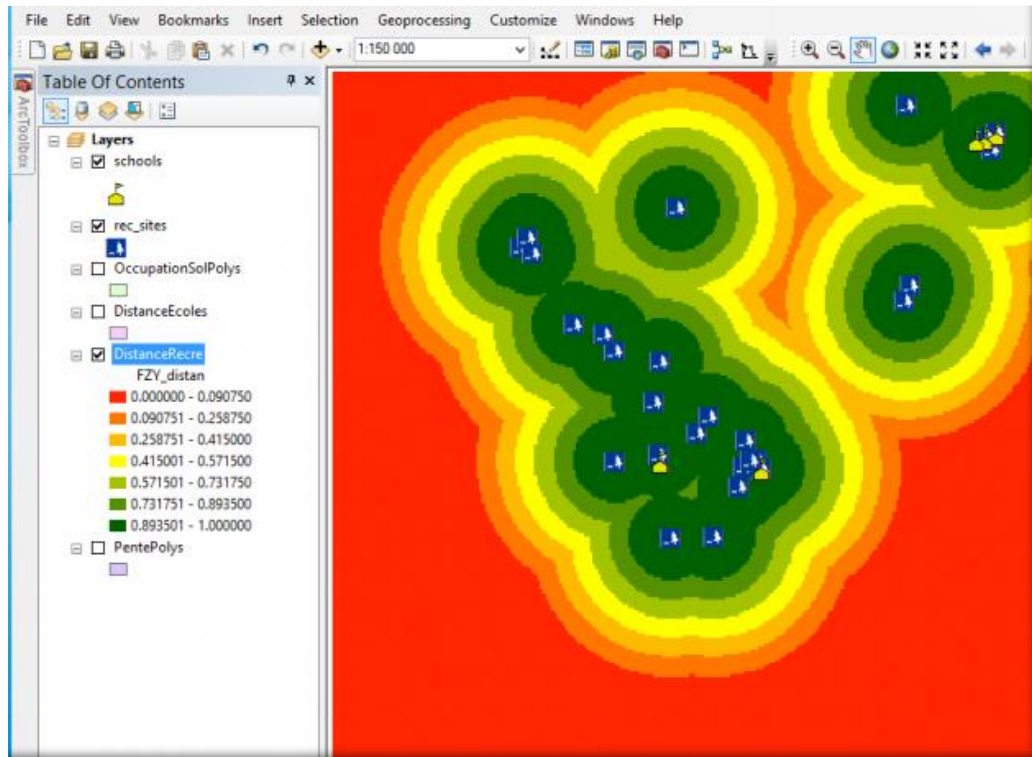


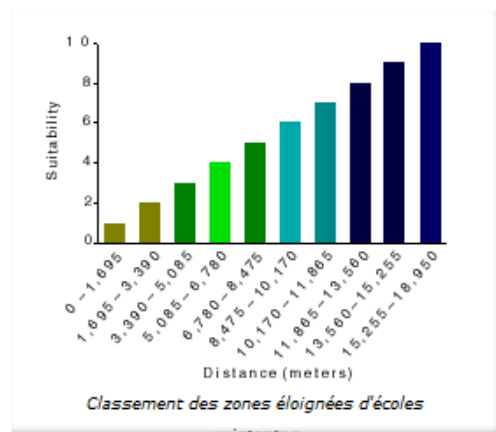
Figure 53 Résultat de la commande Critère souple sur la couche DistanceRecre

Bien sûr on pourrait faire quelque chose de similaire avec l'outil Reclassification. Pour l'instant l'important c'est surtout le raisonnement utilisé.

Nous avons deux résultats différents, pas seulement parce que l'on utilise deux outils différents, mais bien parce que nous avons deux raisonnements différents.

Classement des zones éloignées des écoles existantes, avec Spatial Analyst

Nous avons créé un jeu de données raster dans lequel chaque cellule représente la distance à l'école la plus proche (DistToSchools). Pour donner un rang à la carte, utilisez l'outil Reclassification. Puisqu'il est souhaitable de situer l'école à l'écart des écoles existantes, affectez la valeur 1 aux distances proches de ces écoles et la valeur 10 aux distances qui s'en éloignent. Puis classez les distances intermédiaires linéairement comme le montre l'illustration suivante.



Comme pour la distance aux sites récréatifs, nous utilisons l'outil Reclassification de la boîte à outils **Spatial Analyst->Classer**.

Etapes :

- Ouvrez l'outil Reclassification
- Comme couche en entrée indiquez DistSchoolsReclass
- Acceptez la valeur par défaut pour le paramètre Champ de reclassement afin d'utiliser le champ Valeur.
- Cliquez sur Classer.
- Définissez la Méthode sur Intervalle égal (nombre variable) et le nombre de Classes sur 10.
- Cliquez sur OK.

Vous souhaitez positionner l'école à l'écart des écoles existantes, donc vous affectez des nombres plus élevés aux plages de valeurs qui représentent des emplacements plus éloignés, car ces emplacements sont les plus désirables. Puisque la valeur par défaut affecte des Nouvelles valeurs élevées (emplacements plus appropriés) aux plages élevées d'Anciennes valeurs (emplacements plus éloignés des écoles existantes), vous n'avez pas besoin de modifier les valeurs à ce stade.

Le résultat obtenu est le suivant:

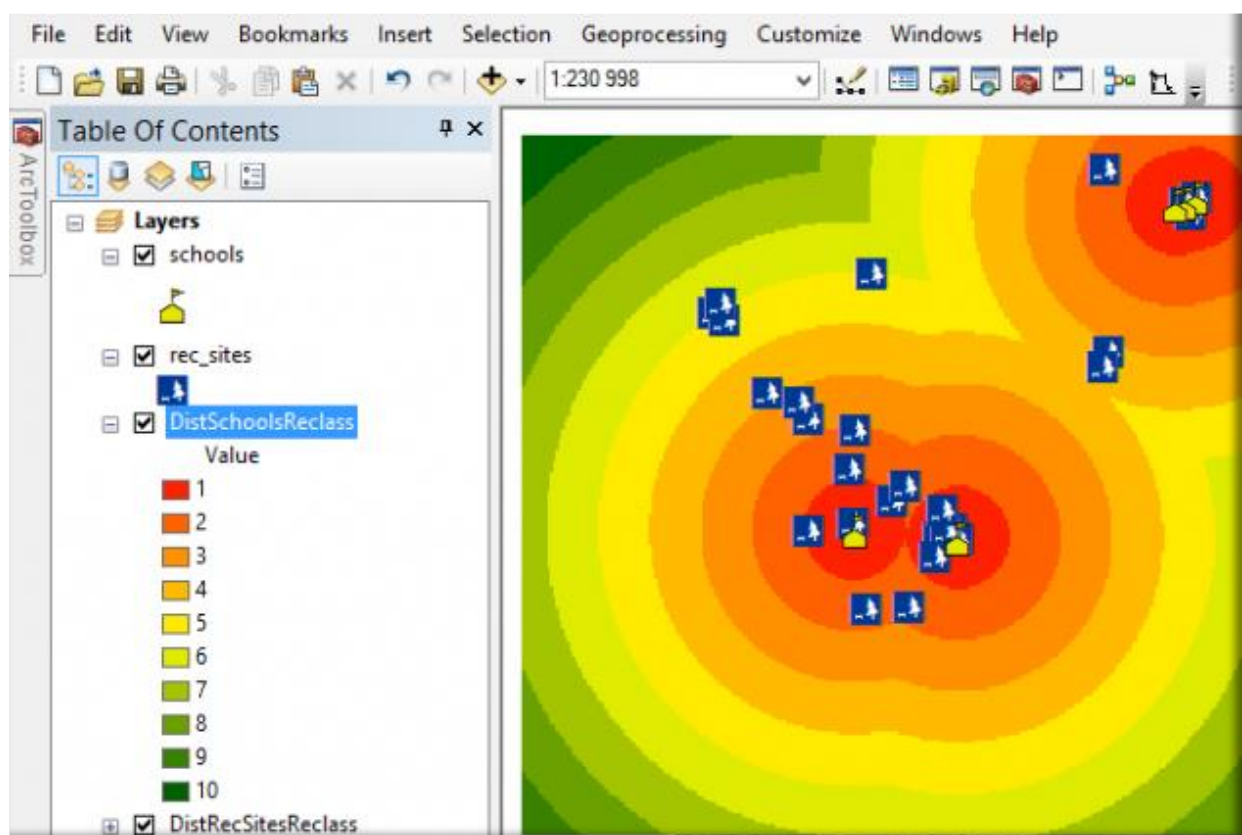


Figure 54 Résultat de la reclassification des distances aux écoles existantes

Les mêmes remarques que pour l'éloignement des sites récréatifs peuvent être faites pour le résultat de ce critère. L'éloignement des écoles existantes n'est pas un concept lié à la taille de notre zone d'étude.

Classement des zones éloignées des écoles existantes avec l'outil Critère souple

Si on applique le même raisonnement que précédemment, un usager considérera que l'école est "Loin" s'il faut plus de 10' en voiture et "Proche" s'il peut y aller à pied (1000m).

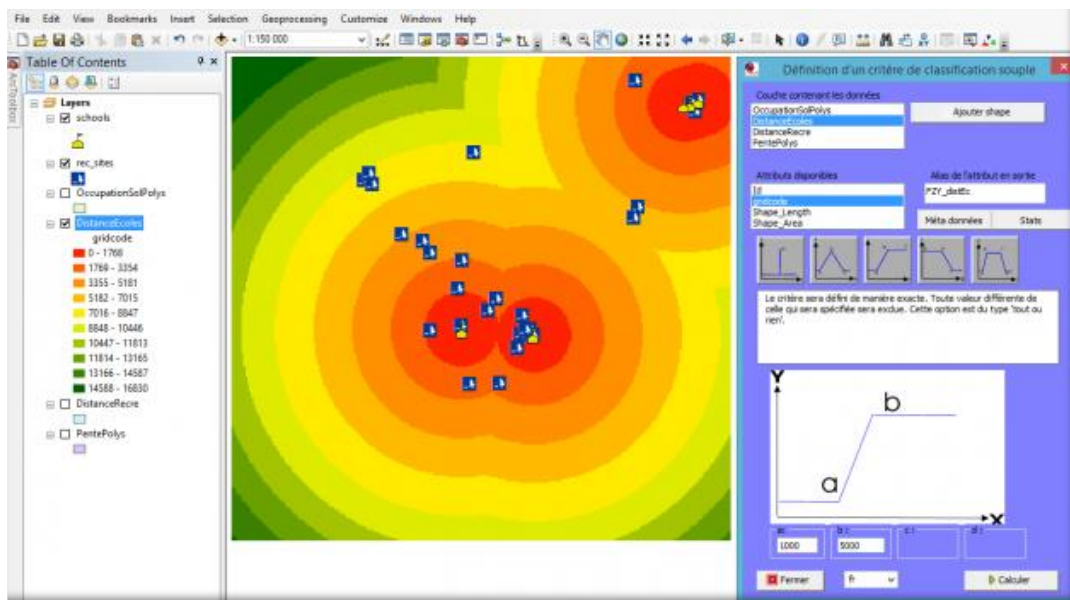


Figure 55 Paramétrage du critère souple Distance aux écoles

Nous sélectionnons l'attribut Gridcode et définissons une satisfaction nulle jusqu'à 1000m (a) et une satisfaction maximale à partir de 5000 m (b).

On clique Calculer, et on obtient le résultat suivant:

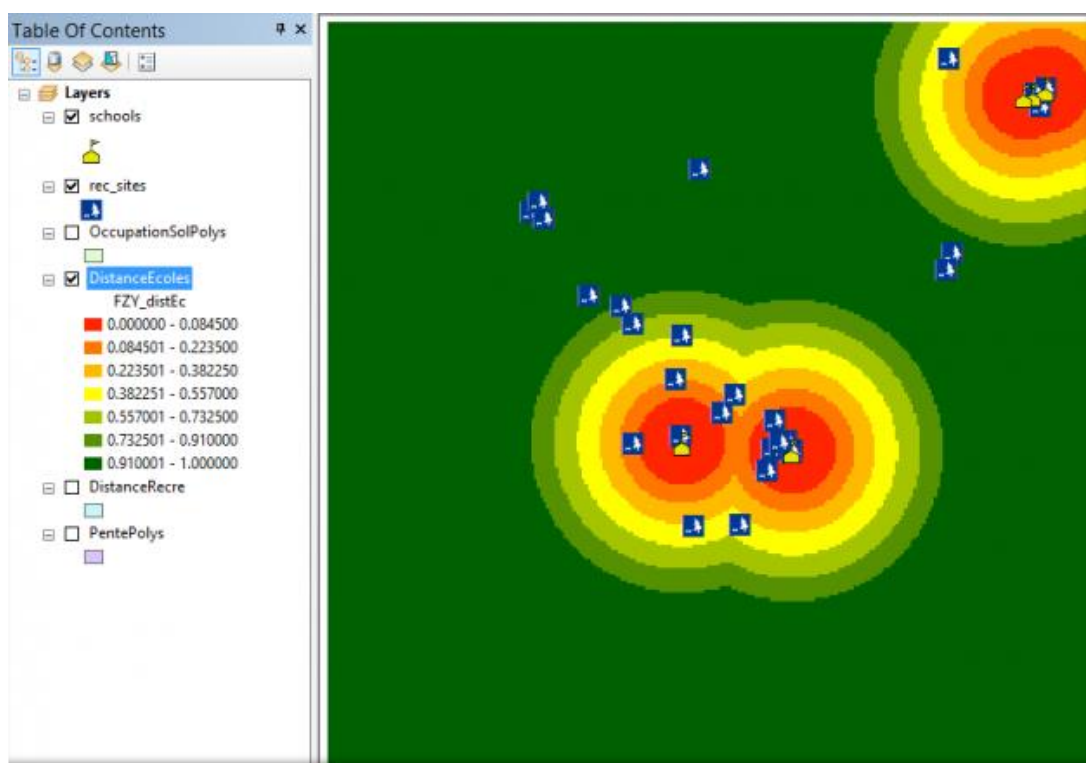


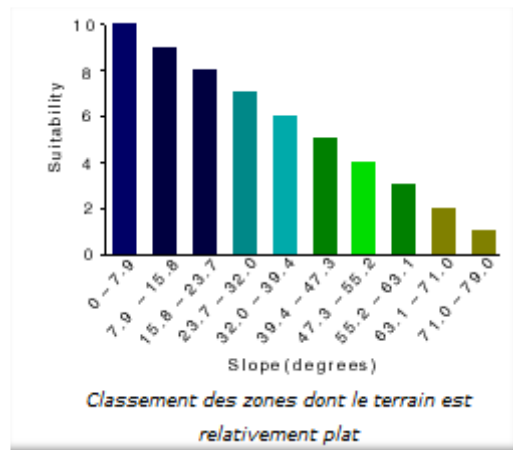
Figure 56 Résultat du critère souple Distance aux écoles

Ce résultat s'accorde mieux avec notre notion de "Loin" : à partir d'une certaine distance, on est loin, pas loin-loin ou loin-très loin, etc.

Dans l'article suivant, nous classerons les pentes et le type d'occupation du sol, avant d'attaquer l'agrégation de tous ces critères pour obtenir le résultat final : notre carte d'aptitude.

Classement des pentes du terrain avec Spatial Analyst

Pour éviter des pentes raides et rechercher les zones dont le terrain de construction est relativement plat, vous devez connaître la pente du site à rechercher. L'outil Pente crée ce type de carte en identifiant pour chaque cellule le taux de variation maximal des valeurs de chaque cellule par rapport aux cellules voisines. Pour donner un rang à la carte, utilisez l'outil Reclassification. Puisqu'il est préférable de situer l'emplacement sur un terrain relativement plat, affectez la valeur 1 aux emplacements dont la pente est raide et la valeur 10 aux emplacements dont la pente est moindre. Puis, classez les valeurs intermédiaires linéairement comme le montre l'illustration suivante.



Nous utilisons l'outil Reclassification de la boîte à outils Spatial Analyst->Classer.

Etapes :

- Ouvrez l'outil Reclassification
- Comme couche en entrée indiquez Pente
- Acceptez la valeur par défaut pour le paramètre Champ de reclassement afin d'utiliser le champ Valeur.
- Cliquez sur Classer
- Définissez la Méthode sur Intervalle égal (nombre variable) et le nombre de Classes sur 10.
- Cliquez sur OK.
- Cliquez sur Inverser les nouvelles valeurs.

L'inversion des valeurs applique de nouvelles valeurs plus élevées aux valeurs qui représentent une pente moins escarpée, puisque ces surfaces sont plus appropriées pour la construction.

- Donnez un nom pour le paramètre Raster en sortie: PenteReclass
- Cliquez sur OK.

Le résultat obtenu est le suivant:

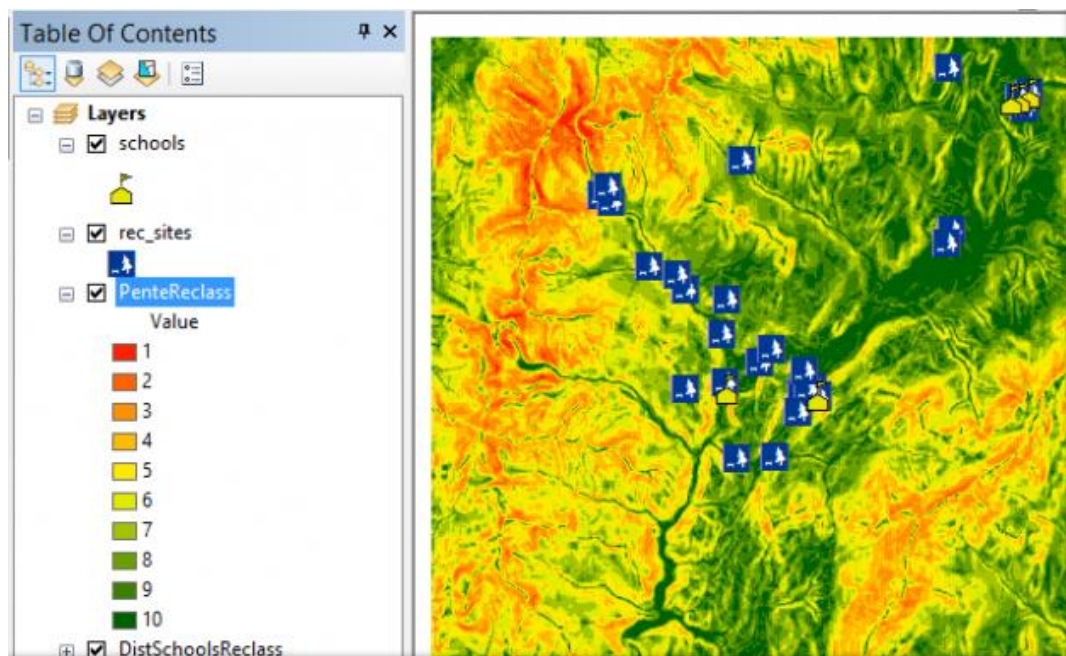


Figure 57 Résultat de la reclassification des pentes

Étant donné que la pente est une donnée directement issue du terrain, à différence des deux critères précédents (distances des écoles et des centres de récréation) la distribution est nettement moins régulière.

Classement des pentes avec l'outil Critère souple

Par contre, classer les pentes entre 0 et 75° en 10 classes n'a pas vraiment de sens vis à vis des contraintes de la construction.

Il faut déjà savoir que les limites dans la construction s'expriment en % de la pente et non en angle. Entre 0 et 15% on est dans la construction classique. Entre 15 et 30% on est obligé de faire appel à la construction sur pilotis ou en échelle. Au-delà de 30%, même si techniquement c'est encore réalisable, les coûts deviennent prohibitifs.

Dans notre cas, donc, on peut considérer un terrain totalement apte à la construction d'une école un terrain ayant une pente de 0 à 15% (0 à 8,5°) et totalement inapte à partir d'une pente de 30% (16,75°).

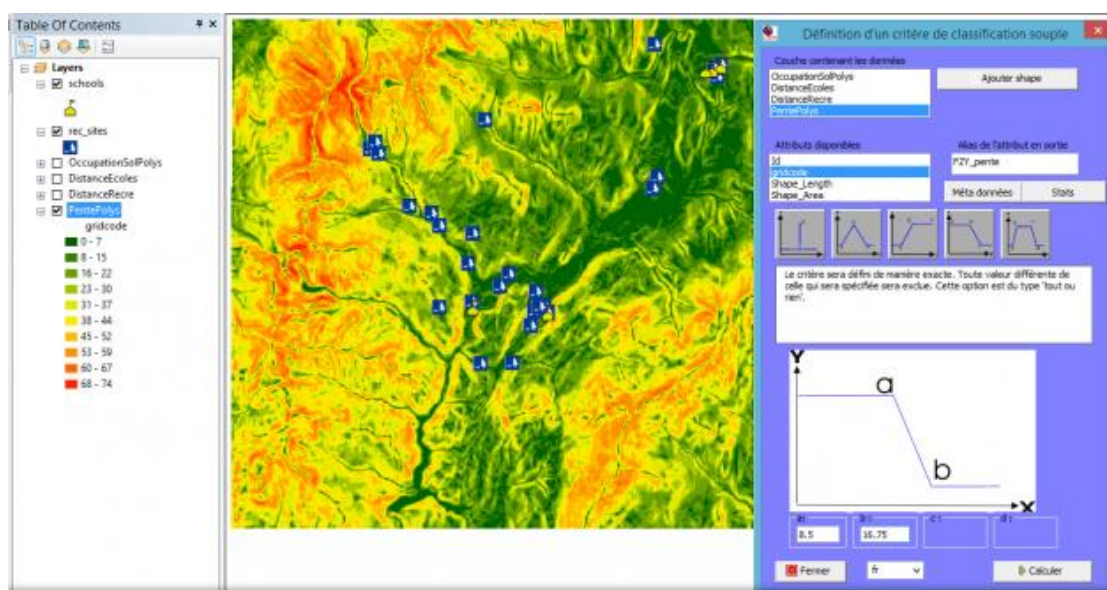


Figure 58 Paramétrage du critère souple Pente

Le résultat obtenu est le suivant:

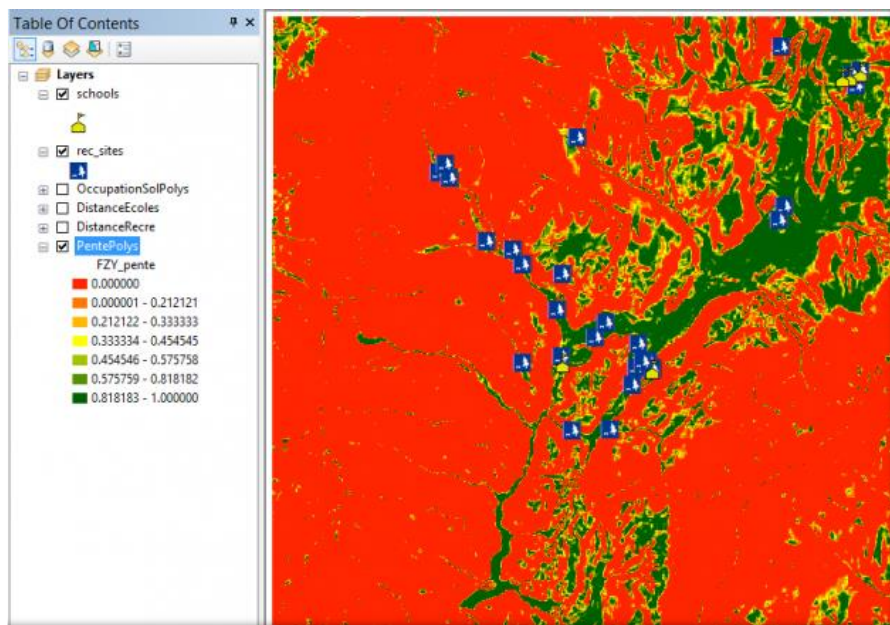


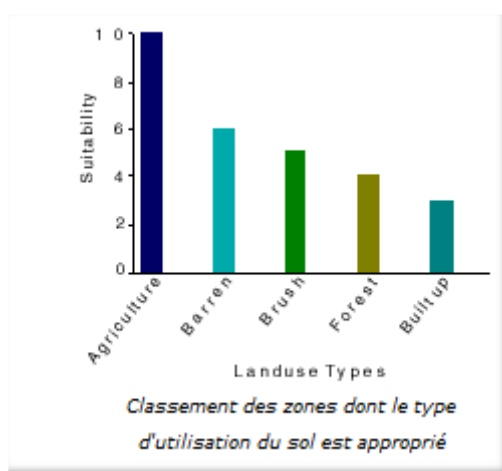
Figure 59 Résultat du critère souple Pente

Classement de l'occupation du sol avec Spatial Analyst

Pour donner un rang à la carte représentant les types d'utilisation du sol, utilisez l'outil Reclassification. Puisqu'il est préférable de construire sur certains types d'utilisation du sol en raison des coûts, vous devez déterminer le mode de classement des valeurs.

Le classement des valeurs de distance ou de pente est une procédure qui reste assez simple. Vous devez déterminer si des distances courtes ou longues sont préférables et si des pentes raides ou moins raides sont souhaitables, puis classer le reste des valeurs linéairement ou spécifier une distance ou une pente maximale à prendre en compte. Ici, vous devez déterminer les types d'utilisation du sol les plus appropriés.

Ce processus est subjectif car il dépend de votre étude. Le plus simple est de décider ce qui est le mieux approprié et ce qui l'est le moins. Ensuite, classez par ordre de préférence les types d'utilisation du sol restants. Procédez ainsi jusqu'à ce que tous les types d'utilisation soient classés. Les utilisations du sol de type eau et marécages ont été exclues de l'analyse car vous ne pouvez pas construire sur de l'eau et devez respecter certaines restrictions quant aux constructions sur des marécages. L'illustration ci-dessous indique le classement des types d'utilisation du sol.



Agriculture -> terres agricoles -> 10

Barren land -> Terres arides -> 6

Brush/transitional -> zone arbustive/de transition -> 5

Forest -> forêt-> 4

Built up -> construite -> 3

Water -> plan d'eau -> 0

Wetlands -> zones humides -> 0

- Ouvrez l'outil Reclassification (3)
- Acceptez la valeur par défaut pour le paramètre Champ de reclassement afin d'utiliser le champ LANDUSE
- Entrez les valeurs indiquées pour chaque type d'occupation dans la table
- cliquez sur OK

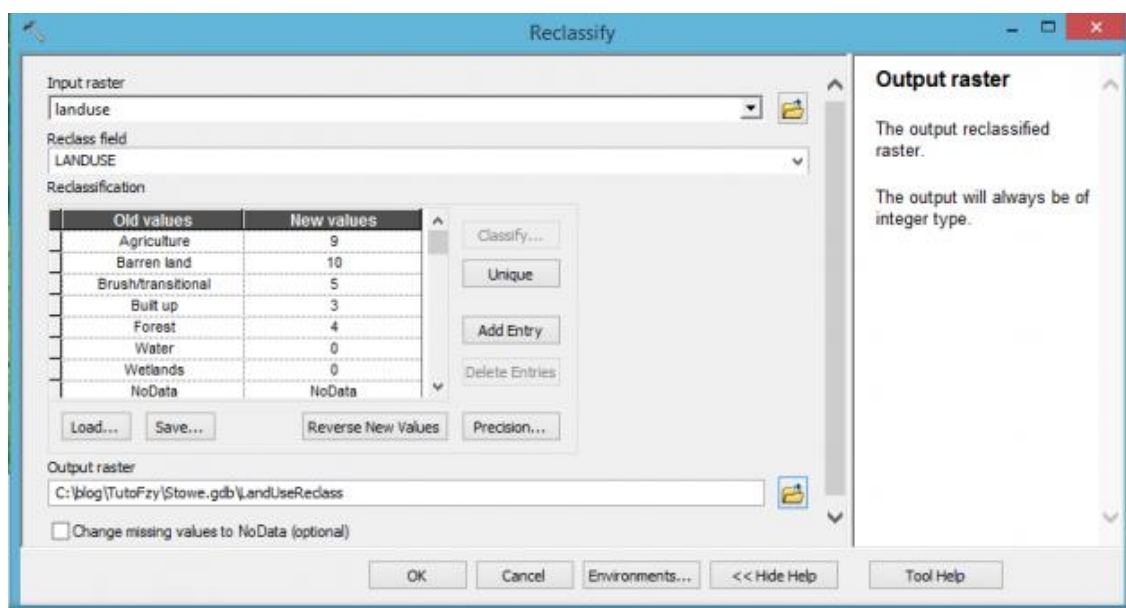


Figure 60 Reclassification des occupations du sol

Le résultat obtenu est le suivant:

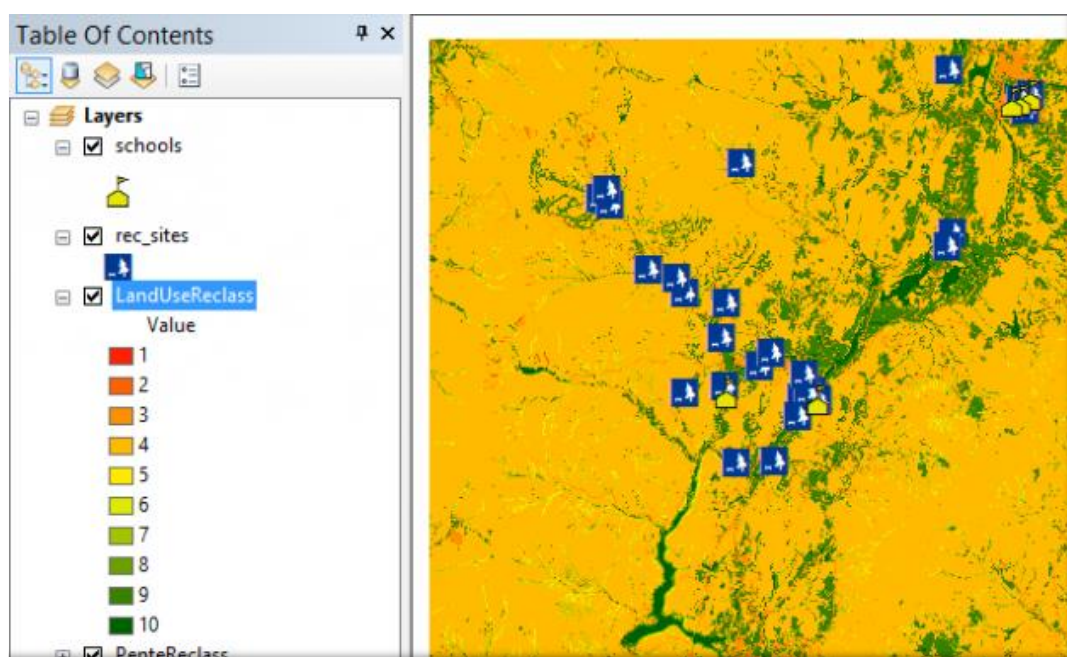


Figure 61 Résultat de la reclassification des occupations du sol

Classement des zones selon l'occupation du sol avec l'outil Critère texte.

L'utilisation de la commande **Critère texte** suit le même processus, le résultat étant équivalent.

Si nous utilisons sept niveaux de satisfaction, on affectera les valeurs suivantes:

Agriculture -> terres agricoles -> Excellent

Barren land -> Terres arides -> Bon

Brush/transitional -> zone arbustive/de transition -> Moyen

Forest -> forêt -> Médiocre

Built up -> construite -> Très mauvais

Water -> plan d'eau -> Exclu

Wetlands -> zones humides -> Exclu

Définition d'un critère de classification souple

Couche contenant les données
OccupationSolPolys
DistanceEcoles
DistanceRecre
PentePolys

Attributs disponibles
LANDUSE

Nombre de niveaux de satisfaction
☐ 3 ☐ 5 ☒ 7

Valeurs uniques trouvées:

Champs non texte ☐ Champs avec valeur 0-1 ☐

Ajouter shape

Shape_Length

Méta données

Alias de l'attribut en sortie
FZY_LANDUSE

Satisfaction (0-6)
Agriculture->6
Barren land->4
Brush/transitional->3
Built up->1
Forest->2
Water->0
Wetlands->0

☐ Excellent ☐ Bon ☐ Médiocre ☒ Exclue
☐ Très bon ☐ Moyen ☐ Très mauvais

Fermer Calculer

fr

Figure 62 Paramétrage de la transformation en critère souple du champ Occupation du Sol

Le résultat obtenu est le suivant:

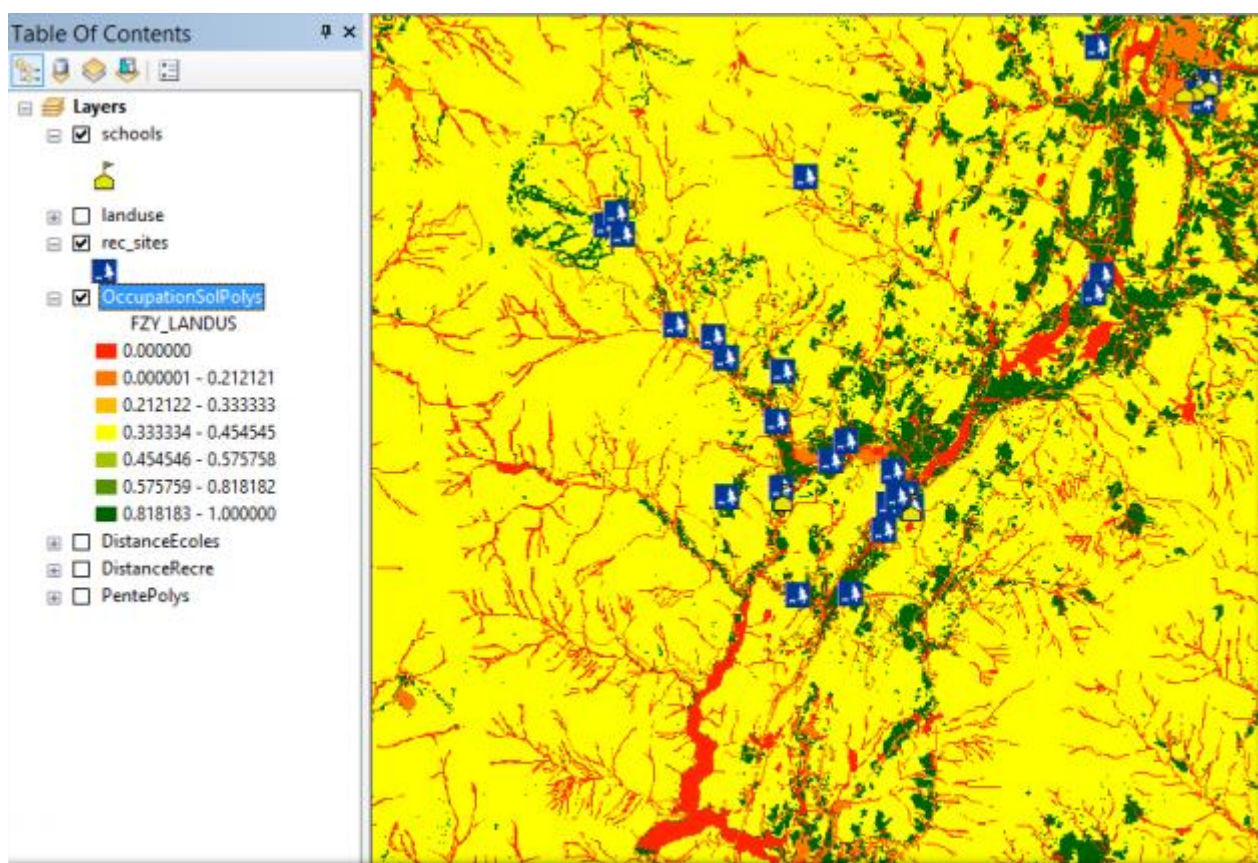


Figure 63 Résultat de la transformation en critère souple du champ Occupation du So

Nous avons fini avec la préparation des différents critères qui permettront de construire la carte d'aptitude.

Jusqu'à présent nous avons suivi en parallèle les deux méthodes de préparation des données correspondante aux différents critères pour classer les terrains selon leur aptitude à accueillir une nouvelle école.

Les deux méthodes ont abouti à quelques différences, mais c'est vrai qu'avec un peu d'effort, la méthode classique pourrait être améliorée et donner des résultats somme toute équivalents.

Nous allons maintenant attaquer la phase finale, l'agrégation des quatre critères, et là, nous allons nous confronter à des différences beaucoup plus significatives.

Voyons tout d'abord ce qui est proposé par la méthode classique, suivie dans le didacticiel ESRI de Spatial Analyst.

Création de la carte d'aptitude avec les outils de Spatial Analyst.

Regroupement des cartes d'aptitude

La dernière étape du modèle d'aptitude consiste à regrouper les sorties reclassifiées (cartes d'aptitude) de Distance par rapport aux installations récréatives, Distance par rapport aux écoles existantes, Pente et Utilisation du sol.

Pour prendre en compte le fait que certains objectifs pèsent plus que d'autres dans le modèle d'aptitude, vous pouvez pondérer les jeux de données. Vous donnez aux jeux de données plus importants un pourcentage d'influence (pondération) plus élevé. Si tous les jeux de données sont d'importance égale, vous pouvez attribuer à tous la même pondération.

Dans l'exemple, vous savez, d'après l'examen du problème, que le premier objectif à remplir est de situer l'école près d'installations récréatives, et le deuxième est de la situer à l'écart des écoles existantes. Les pourcentages d'influence suivants seront attribués aux cartes d'aptitude. Les valeurs entre parenthèses correspondent au pourcentage divisé par 100 pour normaliser les valeurs. Ces dernières sont attribuées à chaque carte d'aptitude :

- Distance par rapport aux installations récréatives: 50%
- Distance par rapport aux écoles: 25%
- Pente: 12,5%
- Types d'utilisation du sol: 12,5%

La carte d'aptitude *Distance par rapport aux installations récréatives* a une influence de 50 % (0,5) sur le résultat final, et la carte *Distance par rapport aux écoles* une influence de 25 % (0,25). Les facteurs *Pente* et *Types d'utilisation du sol* ont tous les deux une influence de 12,5 % (0,125). Comme dans l'affectation d'échelles d'aptitude, l'affectation de pondérations est un processus subjectif qui dépend des objectifs les plus importants de votre étude.

Analyse de la pondération

Ce que vous venez de lire paraît logique, et même intelligent. Ne soyez pas froissé si vous êtes un adepte des pondérations, mais essayons de voir un peu sous la surface.

Qu'est-ce que ça peut bien vouloir dire cette transformation mathématique d'importance d'un critère en valeur de poids?

Et surtout, n'oublions pas que le destinataire du résultat sera forcément un décideur à qui nous allons fournir une carte pour l'aider à prendre sa décision.

Nous avons bien compris que les critères de distance par rapport aux écoles existantes et aux centres récréatifs sont, pour le décideur, plus importantes que le type de terrain (pente et occupation).

En appliquant ces pondérations nous allons, nous croyons, respecter ce raisonnement du décideur.

Alors, comme un exemple vaut mieux qu'un long discours, prenons en deux:

1- Un site qui est excellent suivant les trois critères: distance aux écoles (valeur = 10), distance aux centres récréatifs (valeur = 10) et pente (valeur=10), elle aura comme résultat cumulé des trois critères (valeur du critère multipliée par le poids):

$$0,5 \times 10 + 0,25 \times 10 + 0,125 \times 10 = 8,75$$

Si l'occupation du sol est la meilleure (agriculture =10) on aura comme résultat final

$$8,75 + 1,25 = 10$$

Si l'occupation du sol est la pire (construit =3) on aura comme résultat final

$$8,75 + (0,125 \times 3) = 9,125$$

Vous croyez le décideur capable de trancher entre 9,125 et 10? Au point de se rendre compte que le deuxième choix implique des inconvénients majeurs? Vous trouvez que ça apparaît au premier coup d'œil?

Alors prenons un autre exemple encore plus flagrant:

2- Un site qui est excellent suivant les trois critères: distance aux écoles (valeur = 10), distance aux centres récréatifs (valeur = 10) et occupation du sol (valeur=10), elle aura comme résultat cumulé des trois critères:

$$0,5 \times 10 + 0,25 \times 10 + 0,125 \times 10 = 8,75$$

Si la pente est de 30° elle aura une valeur de 7. Le résultat final sera

$$8,75 + (0,125 \times 7) = 9,625$$

Là, on frise la perfection. On est à quelques poussières du site idéal!

Pourtant une pente de 30° correspond à un pourcentage de pente de 57% qui est plus que le double de la limite possible pour un projet de construction!

Comment pensez-vous qu'une telle proposition va être perçue par le décideur?

Alors, pendant le croisement des critères nous allons exclure des valeurs du critère Pente, avec l'option Restricted de la superposition pondérée. Ceci va empêcher de proposer les sites avec les pentes de plus de 30%. Sauf qu'alors, les seules valeurs acceptables du critère seront 10, 9 et 8, les autres étant exclues. Et donc que, tous les autres critères étant constants, entre la meilleure pente et la pire, le résultat final ne variera que de 0,25 !!!

Contribution du critère pente au total si pente=10 -> $10 \times 0.125 = 1,25$

Contribution du critère pente au total si pente=8 -> $8 \times 0.125 = 1,00$

Vous pourrez essayer de changer les poids, autant que vous voudrez, on trouvera toujours une inadéquation des résultats avec le raisonnement humain. Tout simplement parce que nous ne pondérons pas des critères dans nos têtes. Confondre le fait que nous donnons une importance différente à des critères avec le fait de leur affecter un poids chiffré c'est une fausse bonne idée.

Nous y reviendrons un peu plus loin. Tout d'abord, finissons l'exercice avec Spatial Analyst.

Superposition pondérée avec Spatial Analyst

Nous allons suivre les différentes étapes pour réaliser une superposition pondérée avec l'outil présent dans Tollbox d'ArcGis.

1. Ouvrez l'outil Superposition pondérée. (Outils Spatial Analyst -> Superposition -> Superposition pondérée)

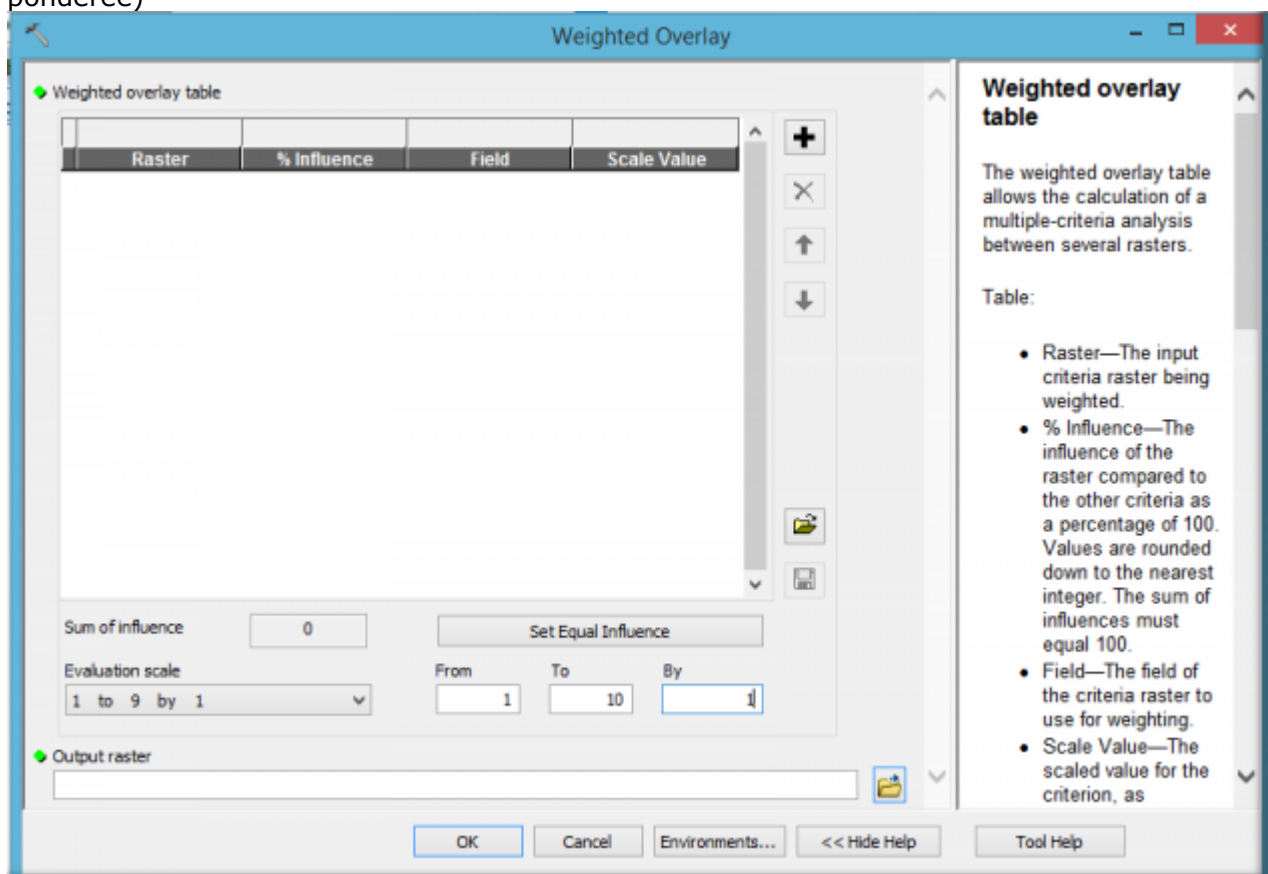


Figure 64 Fenêtre de paramétrage de la Superposition Pondérée

2. Tapez 1, 10 et 1 dans les zones de texte *De*, *A* et *Par*. L'échelle d'évaluation par défaut va de 1 à 9 par pas de 1. Une échelle de 1 à 10 a été utilisée lors de la reclassification des jeux de données, avant d'ajouter des rasters en entrée à l'outil Superposition pondérée, vous devez donc définir les échelles d'évaluation de 1 à 10 par pas de 1. Cela signifie que vous évitez de devoir mettre à jour les valeurs d'échelle après avoir ajouté vos jeux de données en entrée.

3. Cliquez sur Appliquer
4. Ajoutez la couche *PenteReclass* à l'outil **Superposition pondérée**.
5. Cliquez sur le bouton **Ajouter une ligne de raster**.
6. Pour le **Raster en entrée**, sélectionnez *PenteReclass* dans la liste déroulante et laissez le champ en entrée défini sur *Valeur*.
7. Cliquez sur **OK**

Le raster est ajouté à la Table de superposition pondérée. La colonne *Champ* affiche les valeurs des données *PenteReclass*. La colonne *Valeur d'échelle* reproduit la colonne *Champ* car l'Echelle d'évaluation a été configurée pour comprendre la plage des valeurs de chaque raster en entrée. A ce stade, vous pouvez modifier les *Valeurs d'échelle* pour chaque classe, mais pour cette entrée les valeurs ont déjà été pondérées convenablement lors de la reclassification.

Répétez l'étape précédente pour chacun des jeux de données reclassés : *LanduseReclass*, *DistSchoolsReclass* et *DistRecSitesReclass*.

Pour l'entrée *PenteReclass*, dans la colonne *Valeur d'échelle*, cliquez sur la cellule ayant la valeur 1.

Cliquez sur la flèche de liste déroulante, faites défiler l'affichage, puis cliquez sur *Restreint*.

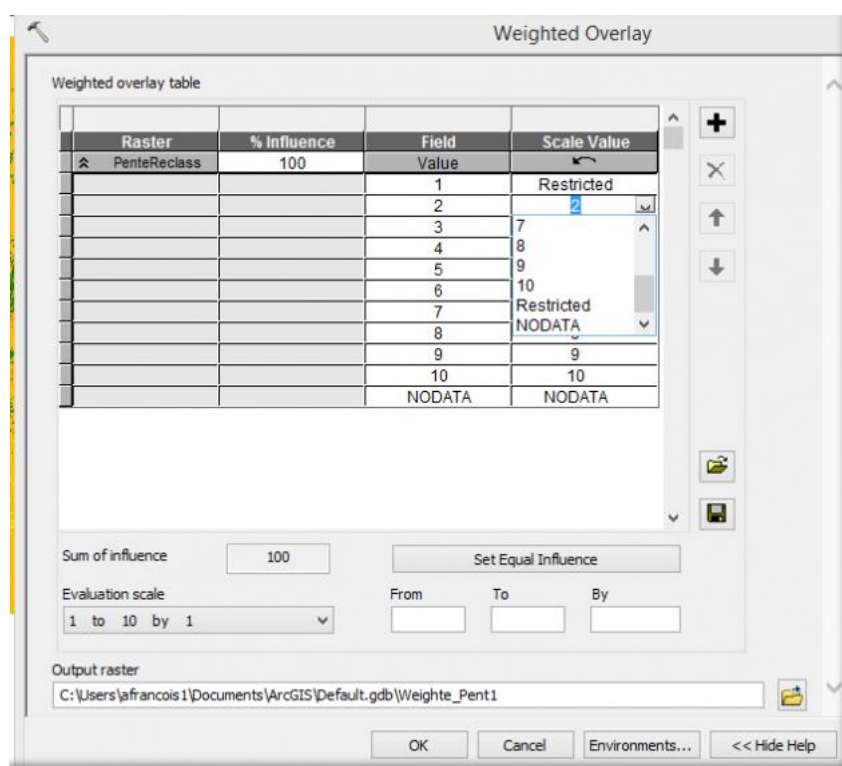


Figure 65 Définition des valeurs de reclassification

De cette façon, quelles qu'elles soient les valeurs des autres couches, la valeur résultante sera 0. Répétez cette opération pour les valeurs 2 et 3.

Pour la couche *LandUseReclass*, définissez la *Valeur d'échelle* qui représente *Water* et *Wetlands* (0) sur **Restreint**.

Vous affectez maintenant un pourcentage d'influence à chaque raster, selon l'importance (ou la pondération) de chacun dans la carte d'aptitude finale.

Dans la colonne **% Influence**, saisissez les pourcentages pour chacun des rasters en entrée :

DistSchoolsReclass sur 25
 DistRecSitesReclass sur 50
 PenteReclass sur 13
 LlandUseReclass sur 12

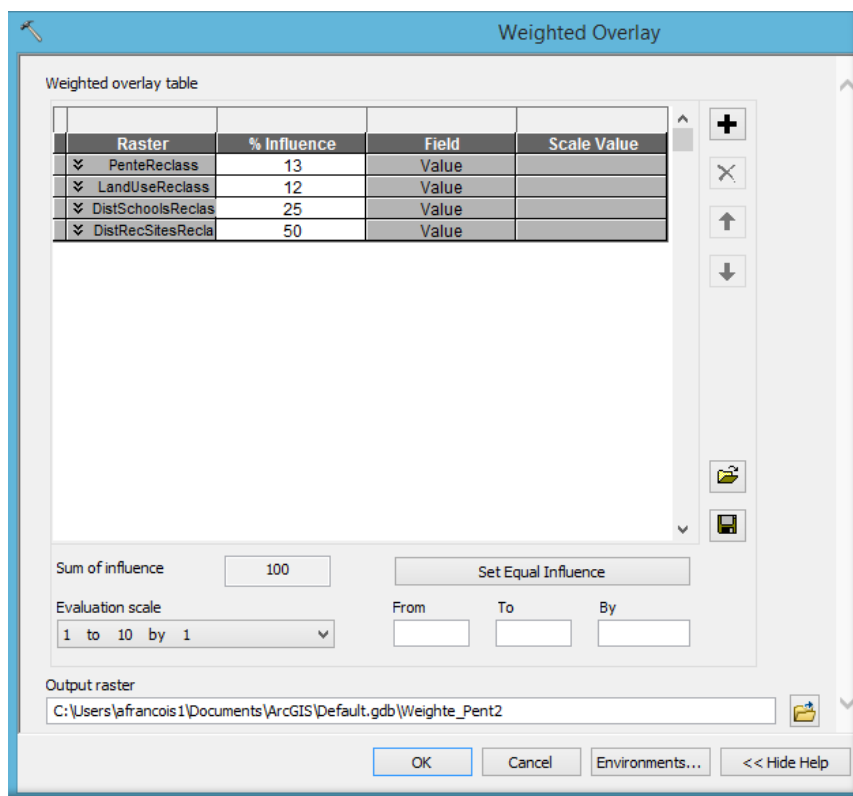


Figure 66 Définition du poids de chaque critère

Cliquez sur OK pour exécuter l'outil.

Le résultat final, notre carte d'aptitude, apparaît ainsi:

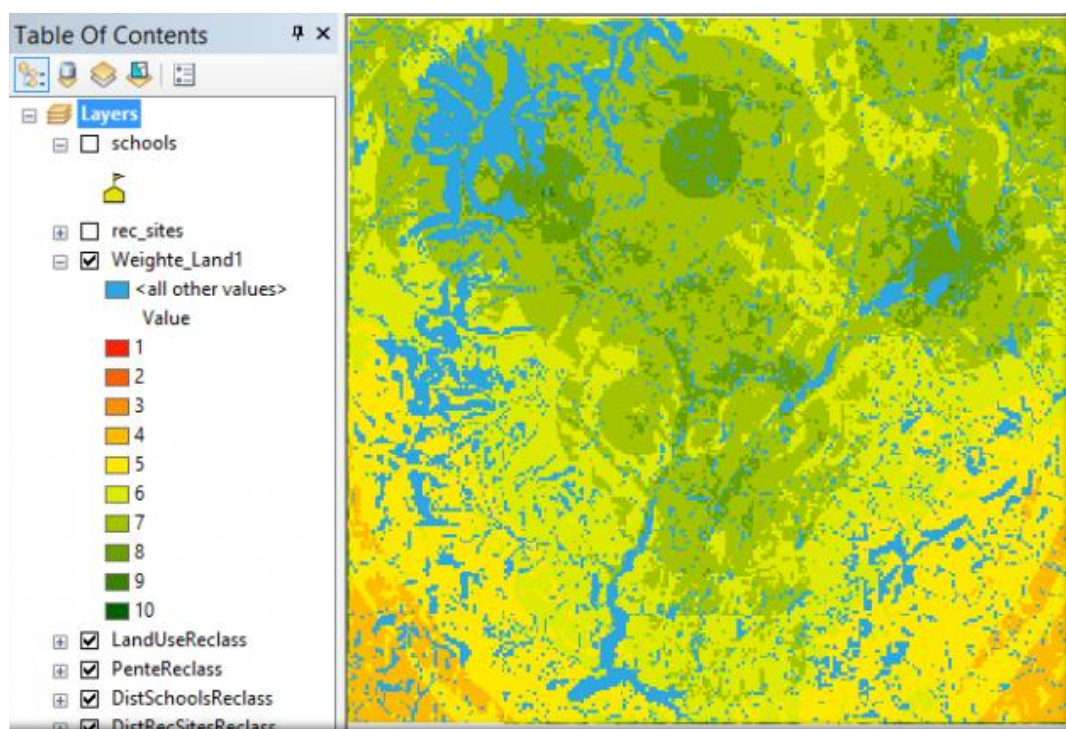


Figure 67 Résultat de la superposition pondérée

Les zones en bleu sont les zones exclues (issues de la commande Restricted de superposition pondérée).

Les zones vertes sont les zones les plus propices.

Réalisation de la carte d'aptitude avec les outils de logique floue

Dans ce chapitre nous allons effectuer ces opérations à l'aide de la commande d'agrégation souple, en appliquant la logique floue à la place des pondérations utilisés dans Spatial Analyst.

Nous avons préparé les données correspondantes à chaque critère, en les transformant en nombres flous.

Nous avons vu dans le déroulement de la confection de la carte d'aptitude avec Spatial Analyst qu'il y avait des valeurs de certains critères qui étaient totalement excluantes : si le type de terrain est un plan d'eau ou une zone humide la valeur résultante ne peut être différente de zéro.

La valeur de la pente est aussi un critère excluant: à partir d'une certaine valeur il devient impossible de construire un bâtiment.

Avant de nous lancer dans l'élaboration de la carte d'aptitude, nous devons décider comment nous allons traiter ces exclusions.

Nous avons le choix entre deux démarches. La première revient à faire comme dans Spatial Analyst et d'éliminer totalement du résultat les zones qui possèdent certaines valeurs d'un critère. La deuxième c'est de ne pas éliminer ces zones et de voir si l'ensemble des autres critères ne "rattrapent" pas les inconvénients du seul critère excluant.

Dans le premier cas, nous allons tout simplement supprimer de la couche en entrée les valeurs excluantes. Dans la phase d'agrégation des critères nous choisirons systématiquement l'option "intersection" des critères. Les zones absentes d'une couche le seront alors dans toutes les agrégations suivantes.

Dans le deuxième cas, un post-traitement de la carte d'aptitude sera nécessaire pour identifier les zones qui dépassent la valeur du critère excluant et les étudier et présenter séparément.

Dans notre exemple, nous allons suivre la première procédure pour les *occupations du sol* et la deuxième pour la *Pente*.

Exclusion des zones "plan d'eau" et "zone humide"

Nous ouvrons une session d'édition et, pour la couche OccupationSolPolys nous rentrons la requête:

LANDUSE in ("Water","Wetlands")

Puis on clique sur "Supprimer la sélection" et on enregistre les modifications.

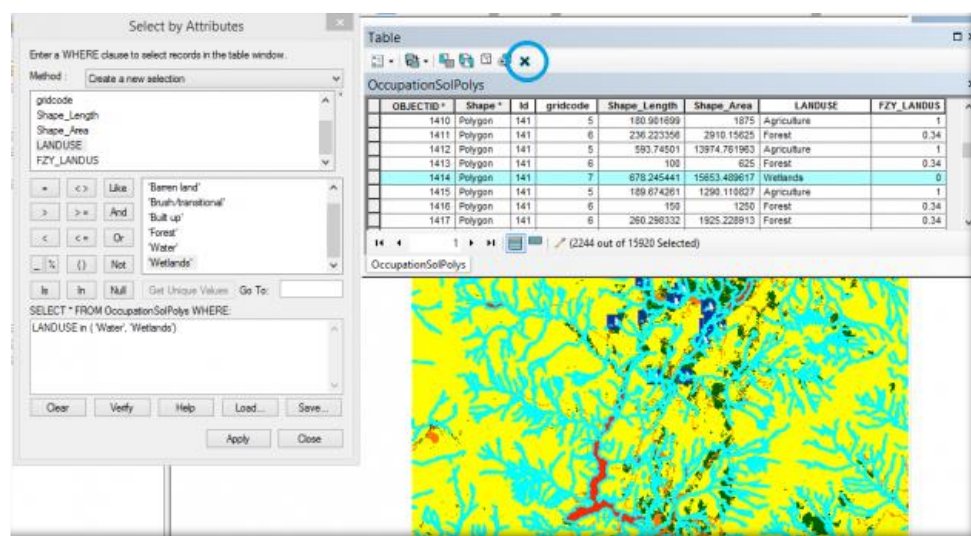


Figure 68 Requête de suppression des zones humides et plans d'eau

Les entités correspondantes à ces deux valeurs sont maintenant absentes de la couche.



Figure 69 Zoom montrant l'absence des zones supprimées

Agrégation des critères

Nous avons quatre critères à agréger. La commande Agrégation souple permet d'agréger deux critères. Nous allons donc l'utiliser trois fois:

- On agrège deux critères pour obtenir le résultat R1
- On agrège R1 au troisième critère pour obtenir le résultat R2, puis
- On agrège R2 au quatrième critère pour obtenir le résultat final.

L'ordre de l'agrégation n'a aucune influence sur le résultat.

La commande pose trois questions pour déterminer le modèle mathématique de l'agrégation. Dans le cas d'une série d'agrégations, les questions doivent être comprises comme le résultat du critère à croiser par rapport à l'ensemble des autres critères.

Exemple:

Nous allons commencer par croiser Distance aux Ecoles et Pente. La première question posée sera:

Si le critère FZY_distEc est 'Très mauvais' et le critère FZY_pente est 'Très bon',

Mais vous devrez comprendre:

Si le critère FZY_distEc est 'Très mauvais' et L'ENSEMBLE DES AUTRES CRITERES est le critère 'Très bon'

L'autre question qu'on doit se poser systématiquement est la question inversée:

Si L'ENSEMBLE DES AUTRES CRITERES est 'Très mauvais' et le critère FZY_distEc est 'Très bon' est-ce que je donnerai la même réponse?

Comme nous l'avons expliqué dans les bases théoriques des commandes floues, cette commande d'agrégation fonctionne en supposant la symétrie des réponses. Que vous mettiez un critère dans la liste de gauche ou de droite de la commande, ne doit pas modifier les réponses aux trois questions.

Si cela modifie la réponse, vous êtes dans le cas particulier des critères d'importance inégale et vous ne devez pas utiliser la commande d'agrégation souple présentée jusqu'ici. Nous verrons une autre commande expérimentale pour traiter ces cas. Pour l'instant, nous allons considérer que la réponse est symétrique dans notre exemple.

Agrégation Distances aux écoles et aux centres récréatifs

Nous utiliserons la commande *Agrégation souple* pour effectuer l'intersection des deux couches DistanceEcoles et DistanceRecre:

Figure 70 Agrégation du souple du critère Distance aux Ecoles et du critère Distance aux centres récréatifs

Nous sélectionnons dans chaque couche le critère flou que nous avons créé dans les articles précédents tout en vérifiant que le type d'opération est bien "Intersection".

La différence avec la procédure suivie avec Spatial Analyst est qu'ici nous posons les questions telles que nous nous les posons habituellement et que les réponses sont aussi telles que nous nous les faisons habituellement.

Il est clair que selon notre position en tant qu'acteur dans le projet, les réponses que nous ferons ne seront pas les mêmes: en tant que parent d'élève nous ne répondrons pas la même chose qu'en tant que promoteur du bâtiment, ou qu'un élu local. La carte d'aptitude finale ne sera donc pas la même selon nos réponses, et c'est ce qui arrive régulièrement dans tous les projets d'aménagement: chaque acteur a sa propre "cartographie" des sites propices.

A la différence du traitement avec Spatial Analyst, ici nous aurons une trace des réponses effectuées, et, au bout du compte, nous pourrons voir où les avis des différents acteurs divergent, en amont du résultat final. Nous pourrons alors revenir sur la véritable source de désaccord sans nous limiter à une constatation des différents résultats finaux.

Ici, pour notre exemple, nous donnons une réponse classique : moyen - moyen - bon ce qui représente une moyenne des deux critères. Dans un autre cas, nous pouvons considérer que la non satisfaction d'un critère est un handicap pour le résultat et nous allons noter le résultat plus bas qu'une moyenne, ou alors les critères nous indiffèrent et même la non satisfaction de ceux-ci ne compromet pas le résultat. Nous allons alors donner un résultat plus haut que la moyenne.

Nous exécutons la commande et obtenons le premier résultat d'agrégation:

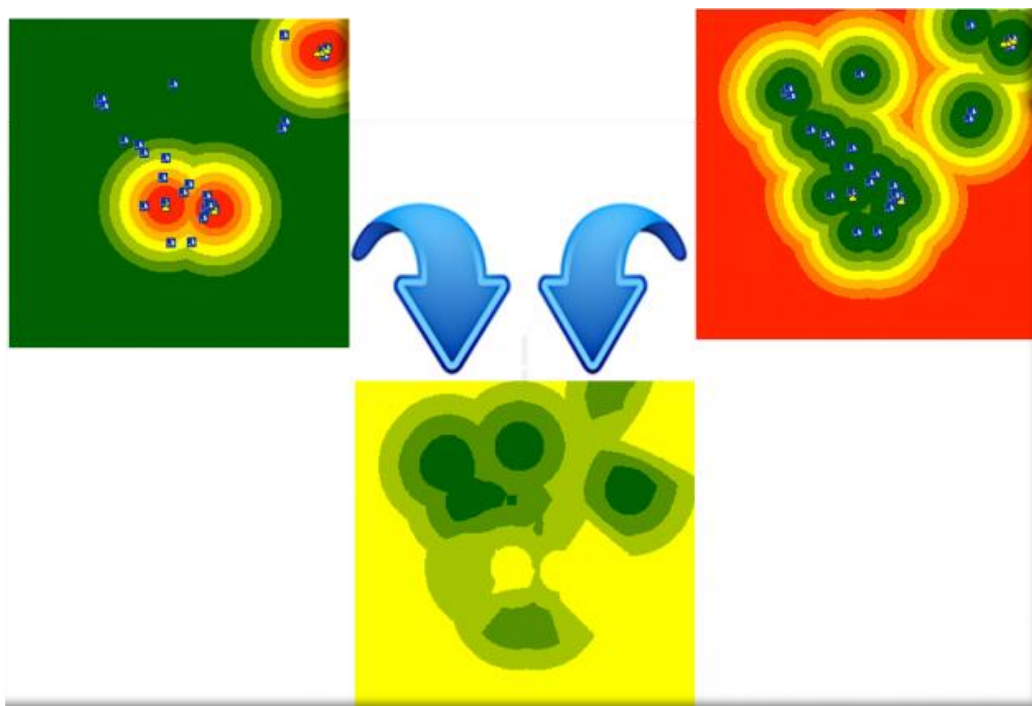


Figure 71 Résultat de la première agrégation

Agrégation du premier résultat et l'occupation du sol

Nous utiliserons la commande Agrégation souple pour effectuer l'intersection des deux couches Agreg_Eco_Rec et OccupationSolPolys:

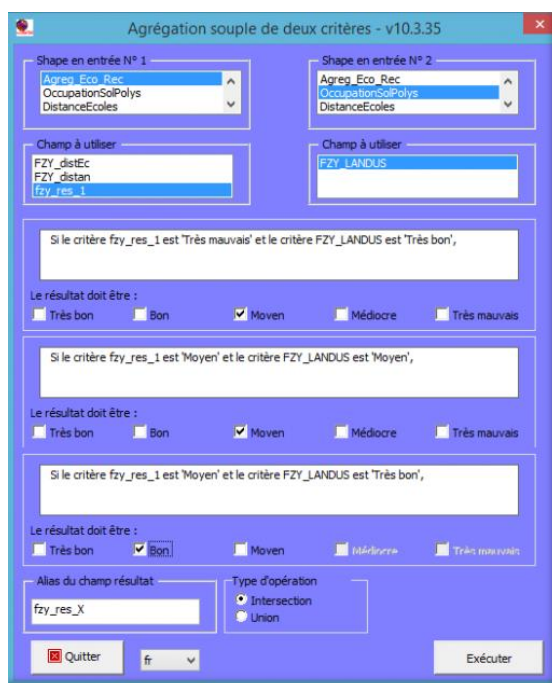


Figure 72 Paramétrage de l'agrégation du premier résultat avec l'occupation du sol

Nous exécutons la commande et obtenons le deuxième résultat d'agrégation:

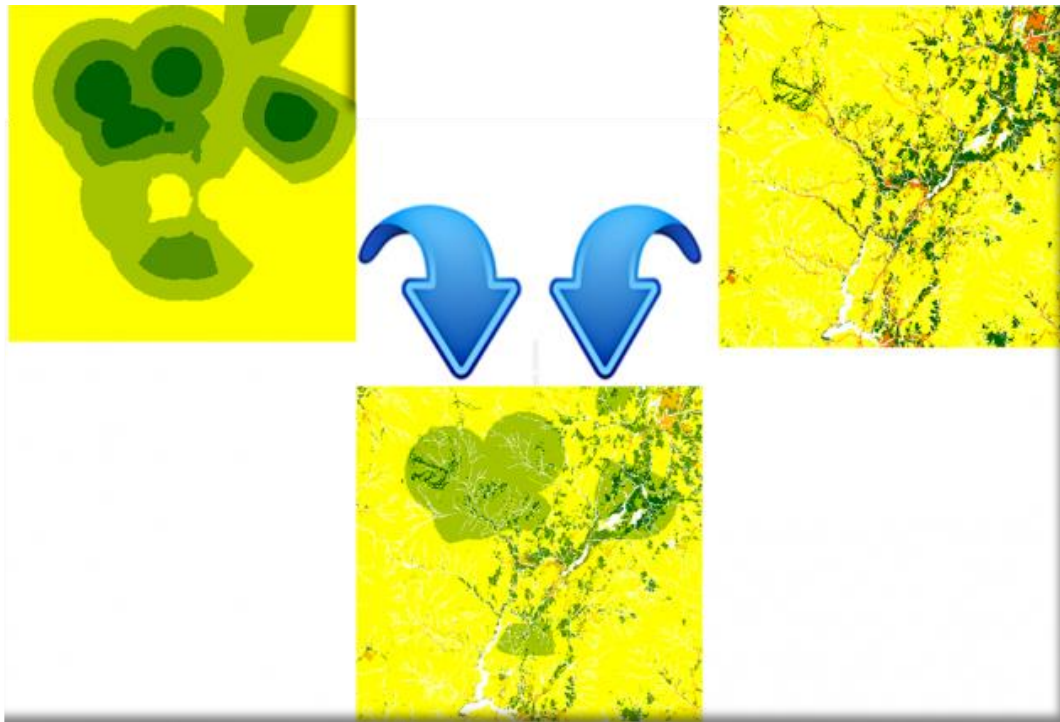


Figure 73 Résultat de l'agrégation du premier résultat avec l'occupation du sol

Agrégation du deuxième résultat et la pente du terrain

Nous utiliserons la commande Agrégation souple pour effectuer l'intersection des deux couches Agreg_Eco_Rec_Occ et PentePolys:

Figure 74 Paramétrage de l'agrégation du deuxième résultat avec la Pente

Nous exécutons la commande et obtenons le troisième et dernier résultat d'agrégation:

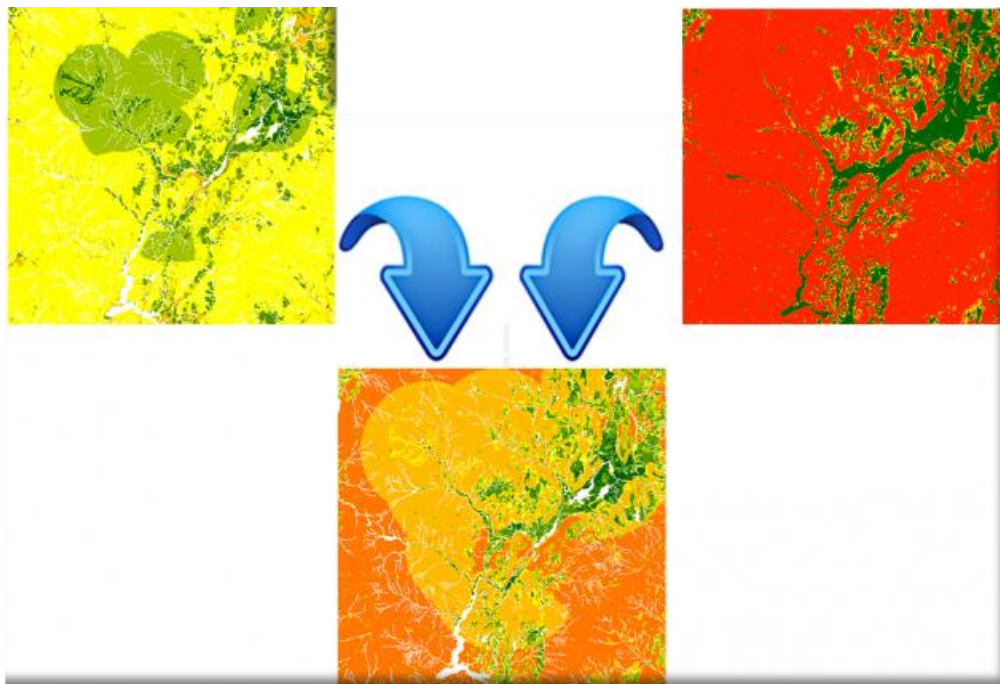


Figure 75 Résultat de l'agrégation du deuxième résultat avec la Pente

L'image suivante montre les deux cartes d'aptitude que nous avons réalisé, à gauche celle effectuée en suivant le didacticiel Spatial Analyst et à droite celle obtenue par la méthode de l'agrégation floue:

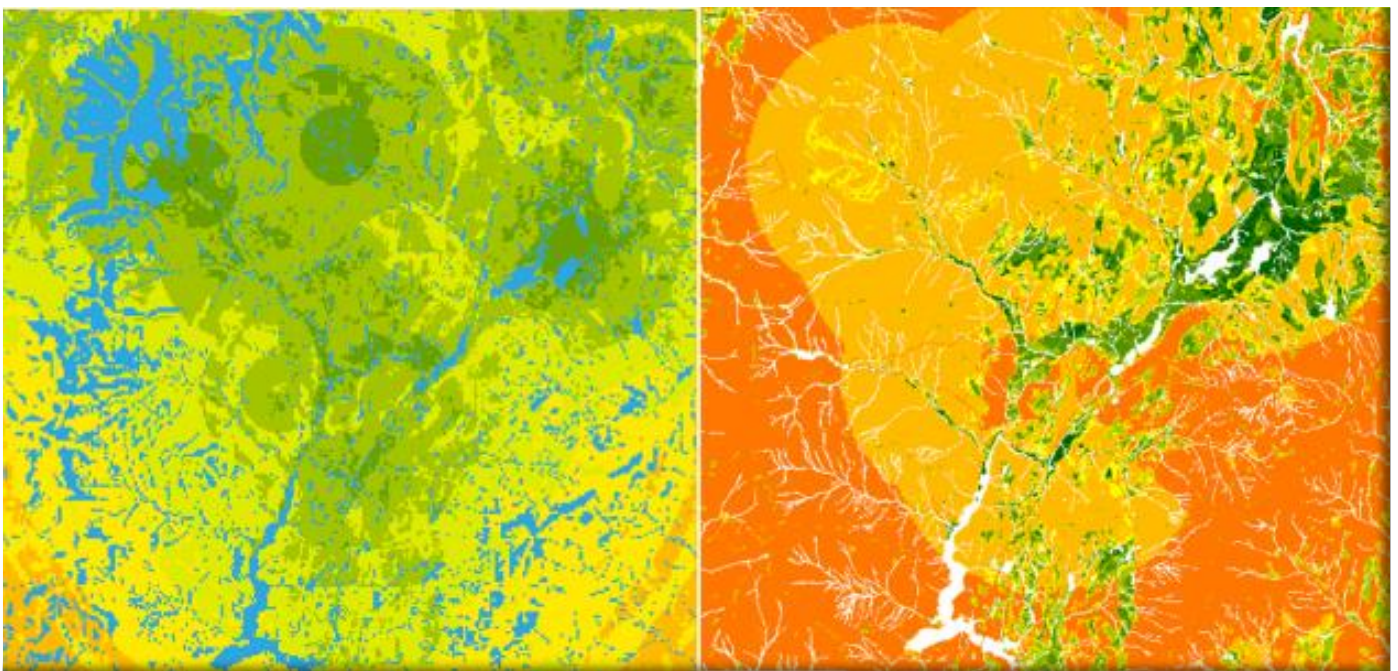


Figure 76 Comparaison des deux cartes d'aptitude.

A gauche celle obtenue avec Spatial Analyst, à droite celle obtenue avec les outils flous

Parmi les innombrables différences que nous pouvons constater entre les deux méthodes :

- Par la méthode classique, nous n'avons pas de résultats pour les valeurs de satisfaction 1 à 3 et 10. L'essentiel des résultats se concentre dans un indice de satisfaction global entre 4 et 8. Ceci est un artefact que nous avons nous mêmes créé en utilisant le système de pondération. C'est à dire que nous allons proposer des sites qui correspondent à une fourchette médiocre-bon.
- Le résultat de l'agrégation souple s'étale de 0 à 1 (ce qui correspond à 0 -10 de la méthode classique). Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la méthode floue est plus restrictive que la méthode classique:

en définissant les nombres flous nous avons établi de véritables frontières (les plages de valeurs en dehors du support) par rapport à la méthode de reclassification linéaire entre 0 et 10 de Spatial Analyst.

On pourrait aller plus dans le détail des différences entre les deux résultats, si la carte d'aptitude basée sur les outils flous était LE résultat de cette méthode. Mais en réalité, il n'est qu'un des résultats possibles. En effet, selon les réponses aux trois questions lors de chaque agrégation, le résultat final ne sera pas le même.

L'important n'est donc pas de comparer les résultats les uns par rapport aux autres, en partant de la base qu'il y en a un seul « bon » résultat. Le bon résultat est celui qui traduit le plus fidèlement le raisonnement du décideur, car c'est celui-ci qui sera la véritable aide à la décision. Si en prenant un ou plusieurs points au hasard, le décideur trouve, en faisant par lui-même la classification d'aptitude de ces points, le même résultat que la carte produite, alors on pourra dire qu'elle correspond aux attentes d'un produit d'aide à la décision.

Table des matières

SIG ET AIDE A LA DECISION: UNE NOUVELLE APPROCHE BASEE SUR LA LOGIQUE FLOUE.	1
PREMIERE PARTIE : CONTEXTE DU PROBLEME ET EXEMPLES	2
UTILISATION DES REQUETES CLASSIQUES DES SIG.	2
UNE AUTRE LOGIQUE, UN AUTRE RESULTAT	4
LE CLASSEMENT D'ENTITES GEOGRAPHIQUES	7
LE CLASSEMENT D'ENTITES SELON UN SEUL CRITERE	8
LE CLASSEMENT D'ENTITES SELON DEUX CRITERES	8
QUELLES CONCLUSIONS TIRER?	11
DEUXIEME PARTIE :BASES THEORIQUES DU CLASSEMENT D'OBJETS AVEC DES NOMBRES FLOUS	13
INTRODUCTION	13
PRINCIPE DE L'APPROCHE.	13
L'AGREGATION DE CRITERES	15
1:CRITERES D'EGALE IMPORTANCE.	15
PROCEDURE DE DETERMINATION DE L'OPERATION D'AGREGATION.	15
EXEMPLE D'AGREGATION.	16
2: CRITERES D'IMPORTANCE INEGALE	17
LIMITES DU PROBLEME.	18
ENONCE DU PROBLEME	18
SOLUTION PROPOSEE.	18
SOLUTION PRATIQUE	19
TROISIEME PARTIE : PRESENTATION DES OUTILS DEVELOPPES POUR ARCGIS/ARCMAP	21
LA COMMANDE CRITERE SOUPLE NUMERIQUE	21
METHODES DE TRANSFORMATION	22
AIDES A LA TRANSFORMATION : STATISTIQUES D'UN CHAMP	24
AIDES A LA TRANSFORMATION : METADONNEES	24
LANGUES DISPONIBLES	25
VERSIONS D'ARCGIS	25
INSTALLATION DES OUTILS	25
COMMANDE D'AGREGATION DE DEUX CRITERES FLOUS D'EGALE IMPORTANCE.	28
UTILISATION DE LA COMMANDE	28
DEFINITION DU MODELE MATHEMATIQUE D'AGREGATION.	28
DEFINITION DU TYPE D'OPERATION D'AGREGATION.	29
AFFICHAGE DU RESULTAT DE L'AGREGATION	29
AIDE AU SUIVI DES PROCESSUS: METADONNEES	29
LANGUES DISPONIBLES	30
VERSIONS D'ARCGIS	30
INSTALLATION DES OUTILS	30
PROBLEMES CONNUS	32
COMMANDE D'AGREGATION DE DEUX CRITERES FLOUS D'IMPORTANCE INEGALE (VERSION EXPERIMENTALE).	33

LA COMMANDE CRITERE SOUPLE TEXTUEL	33
UTILISATION DE LA COMMANDE "CRITERE TEXTE"	33
CHOIX DE L'ATTRIBUT A TRANSFORMER	34
CHOIX DES VALEURS DE TRANSFORMATION	35
AIDES A LA TRANSFORMATION : METADONNEES	37
LANGUES DISPONIBLES	37
VERSIONS D'ARCGIS	37
INSTALLATION DE LA COMMANDE	37
QUATRIEME PARTIE : APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE A L'ELABORATION D'UNE CARTE D'APTITUDE	40
DONNEES DU DIDACTICIEL	40
SCENARIO DU DIDACTICIEL ESRI	40
DECOMPOSITION DU PROBLEME	40
OU SONT LES EMPLACEMENTS DONT LE TERRAIN EST RELATIVEMENT PLAT ?	41
L'UTILISATION DU SOL EST-ELLE APPROPRIEE DANS CES EMPLACEMENTS ?	41
CES EMPLACEMENTS SONT-ILS ASSEZ PROCHES D'INSTALLATIONS RECREATIVES ?	41
SONT-ILS ASSEZ ELOIGNES DES ECOLES EXISTANTES ?	41
CREATION D'UNE CARTE D'APTITUDE	43
CREATION D'ECHELLES D'APTITUDE	43
PREPARATION DES DONNEES AVEC LES OUTILS DE SPATIAL ANALYST ET LES OUTILS BASE SUR LA LOGIQUE FLOUE.	44
CLASSEMENT DES ZONES A PROXIMITE D'INSTALLATIONS RECREATIVES AVEC L'OUTIL RECLASSIFICATION	44
CLASSEMENT DES ZONES A PROXIMITE D'INSTALLATIONS RECREATIVES AVEC L'OUTIL CRITERE SOUPLE	46
CLASSEMENT DES ZONES ELOIGNEES DES ECOLES EXISTANTES, AVEC SPATIAL ANALYST	47
CLASSEMENT DES ZONES ELOIGNEES DES ECOLES EXISTANTES AVEC L'OUTIL CRITERE SOUPLE	48
CLASSEMENT DES PENTES DU TERRAIN AVEC SPATIAL ANALYST	50
CLASSEMENT DES PENTES AVEC L'OUTIL CRITERE SOUPLE	51
CLASSEMENT DE L'OCCUPATION DU SOL AVEC SPATIAL ANALYST	52
CLASSEMENT DES ZONES SELON L'OCCUPATION DU SOL AVEC L'OUTIL CRITERE TEXTE.	54
CREATION DE LA CARTE D'APTITUDE AVEC LES OUTILS DE SPATIAL ANALYST.	55
REGROUPEMENT DES CARTES D'APTITUDE	55
ANALYSE DE LA PONDERATION	56
SUPERPOSITION PONDEREE AVEC SPATIAL ANALYST	57
REALISATION DE LA CARTE D'APTITUDE AVEC LES OUTILS DE LOGIQUE FLOUE	60
EXCLUSION DES ZONES "PLAN D'EAU" ET "ZONE HUMIDE"	60
AGREGATION DES CRITERES	61
AGREGATION DISTANCES AUX ECOLES ET AUX CENTRES RECREATIFS	62
AGREGATION DU PREMIER RESULTAT ET L'OCCUPATION DU SOL	63
AGREGATION DU DEUXIEME RESULTAT ET LA PENTE DU TERRAIN	64