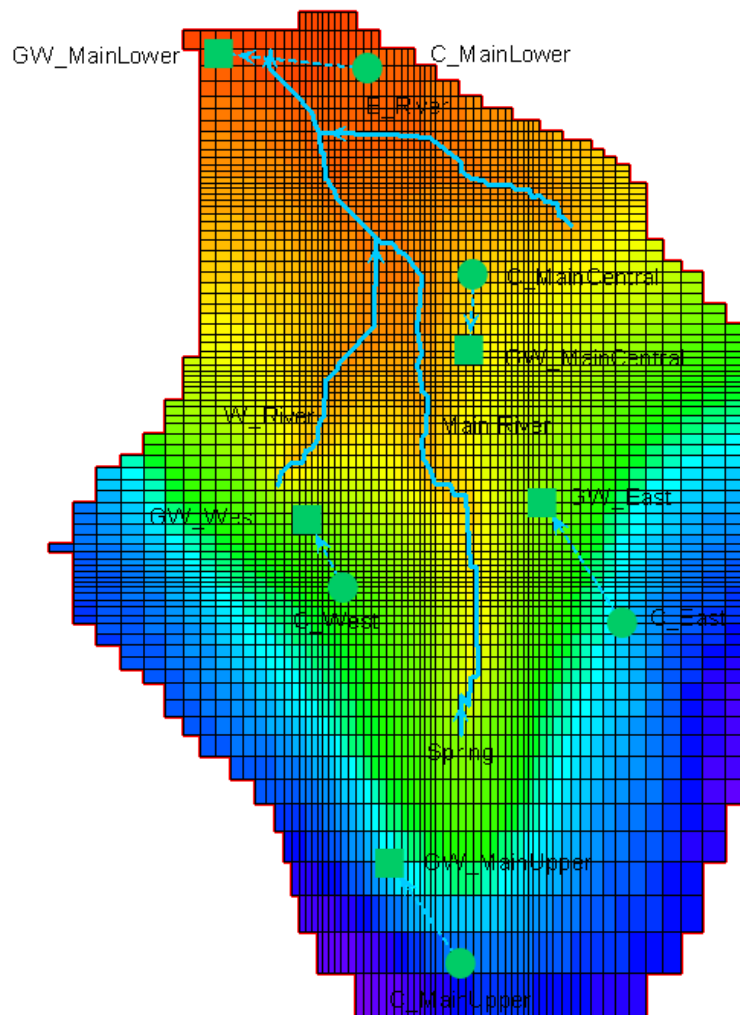


Tutoriel de WEAP-MODFLOW



Tutoriel de WEAP-MODFLOW

Version 2

Auteurs

M. Huber (geo:tools)

M. Al-Sibai (ACSAD)

Co-Auteurs

J. Al Mahameed (ACSAD)

A. Abdallah (ACSAD)

O. Al Shihabi (ACSAD)

I. Jnad (ACSAD)

J. Wolfer

J. Maßmann (BGR)

Disponible en ligne sur

<http://www.bgr.bund.de/IWRM-DSS>

Traduit de l'anglais par O. Al Shihabi

Sommaire

1	Introduction	4
2	Modèle MODFLOW	5
2.1	Zone du modèle – “Main River Basin”	5
2.2	Modèle mathématique	6
3	Créer et Lier un Modèle WEAP Basé sur des Données MODFLOW.....	8
3.1	Créer un nouveau « WEAP – Area »	9
3.2	Commencer LinkKitchen	10
3.3	Définition des limites de « WEAP Area »	11
3.4	Ajouter des sous-bassins et des nœuds eaux souterraines au schéma	13
3.5	Ajouter des rivières au Schéma	16
3.6	Ajuster la période d'exécution du model dans WEAP	17
3.7	Définir des bassins versants et des eaux souterraines dans le fichier de liaison	18
3.8	Définir des rivières dans le fichier de fiaisn	21
3.9	Définir la relation DEBIT-HAUTEUR-LARGEUR	25
3.10	Envoyer les données du fichier de liaison à WEAP	26
3.10.1	Envoyer les surfaces des bassins versants dans WEAP	26
3.10.2	Envoyer la recharge des eaux souterraines dans WEAP	27
3.11	Lier WEAP et MODFLOW	28
4	Hydrologie dans WEAP Modèles Liés – Pluie-Débit	31
4.1	Ajouter des liens de ruissellements au schéma	31
4.2	Attribuer les bassins et les classes d’occupation du sol dans le fichier de liaison	32
4.3	Entrer les données dans WEAP	34
4.3.1	Entrer la précipitation	34
4.3.2	Entrer ETRef	35
4.3.3	Enter Kc	35
4.3.4	Entrer les fractions de ruissellement et d'infiltration	35
4.3.5	Exécuter le modèle et parcourir les résultats	35
5	Tâches Courantes.....	36
5.1	Abstraction pour l'irrigation	36
5.1.1	Ajouter le prélèvement pour l'irrigation par site de demande	36
5.1.2	Ajouter le prélèvement pour l'irrigation aux classes d’occupation du sol	37
5.2	Changements en occupation du sol	39
5.2.1	Urbanisation	39
5.2.2	Croissance de l'irrigation	40
5.3	Approvisionnement de l’eau domestique à partir des forages	41
5.4	Recharge artificielle	43
5.5	Changement climatique	45

1 Introduction

Ce présent tutoriel a l'intention d'illustrer l'idée de liaison dynamique entre WEAP et MODFLOW.

Les techniques ici présentées sont gardées le plus simple possible pour vous familiariser avec les étapes à suivre dans la construction d'un modèle WEAP lié avec MODFLOW et pour vous donner une introduction générale sur comment résoudre des problèmes de gestion de l'eau.

La première partie vous guidera à travers la construction du modèle WEAP basé sur des données stockées dans un modèle MODFLOW ("Hard Data approach"). Malgré le fait que cette approche n'est pas flexible et que des nombreuses options de modélisation de WEAP ne sont pas disponibles, elle est utile si les données mesurées (p.ex. précipitation) utilisées pour construire et calibrer un modèle MODFLOW ne sont pas disponibles pour une raison quelconque.

La seconde partie se focalise sur la construction et la liaison d'un modèle en utilisant les fonctions internes de WEAP pour estimer la recherche de l'eau souterraine et le ruissèlement de surface.

Dans la dernière partie, vous apprendrez comment vous occuper des défis typiques pour les modélisateurs comme l'implémentation de recharge artificielle ou le changement d'occupation de sol.

Avant de commencer avec le tutoriel, on conseille à avoir téléchargé les fichiers « shape files » associés (Catchment.shp, Landuse.shp, Wellfields.shp) ainsi que le fichier « csv » (InputData.csv).

Ce tutoriel se réfère à la version 3.001 de WEAP (Sep. 2012) et l'outil LinkKitchen version 1.00 (Sep. 2012). Il est également basé sur le tutoriel WEAP-MODFLOW par BGR/ACSAD (2009) et inclut contributions de M. Al-Sibai (Chapitre 2).

2 Modèle MODFLOW

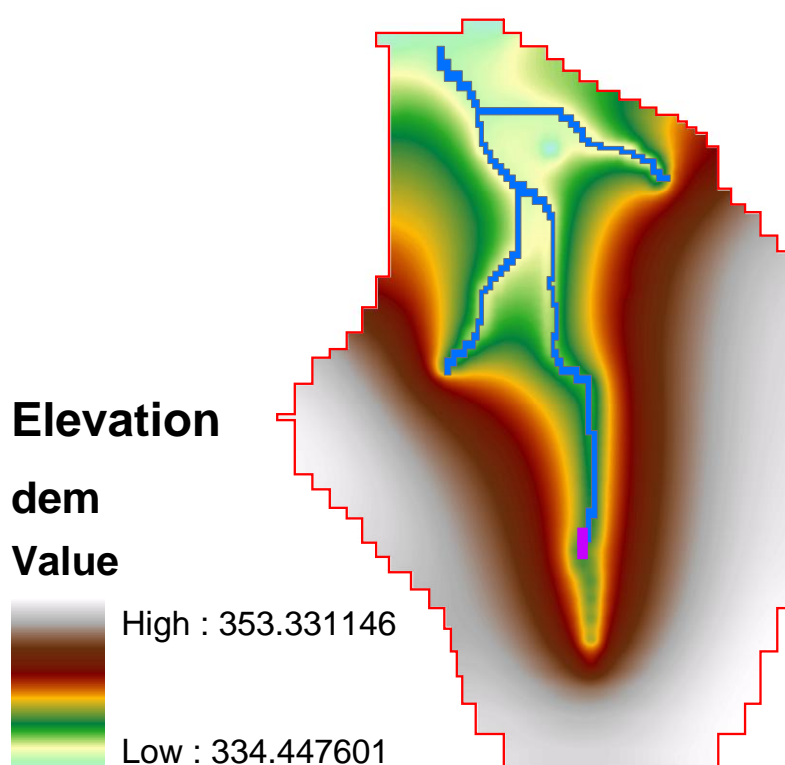
Le modèle MODFLOW utilisé dans ce tutoriel a été désigné avec l'intention d'inclure plusieurs options de gestion (barrages, irrigation) tout en restant facile à comprendre. Il est une modification du modèle original utilisé dans le GMS-tutoriel et dans le suivant sera appelé « Main River Basin ».

2.1 Zone du modèle - "Main River Basin"

Le bassin versant étudié couvre 783 Km². Il est localisé dans un climat semi-aride avec des précipitations uniquement aux mois de l'hiver. La majorité de la précipitation est perdue sous forme d'évapotranspiration. L'aquifère est composé du socle cristallin fracturé et des alluvions dans les vallées. Son épaisseur saturée varie du 35 m au sud à environ 53 m au nord.

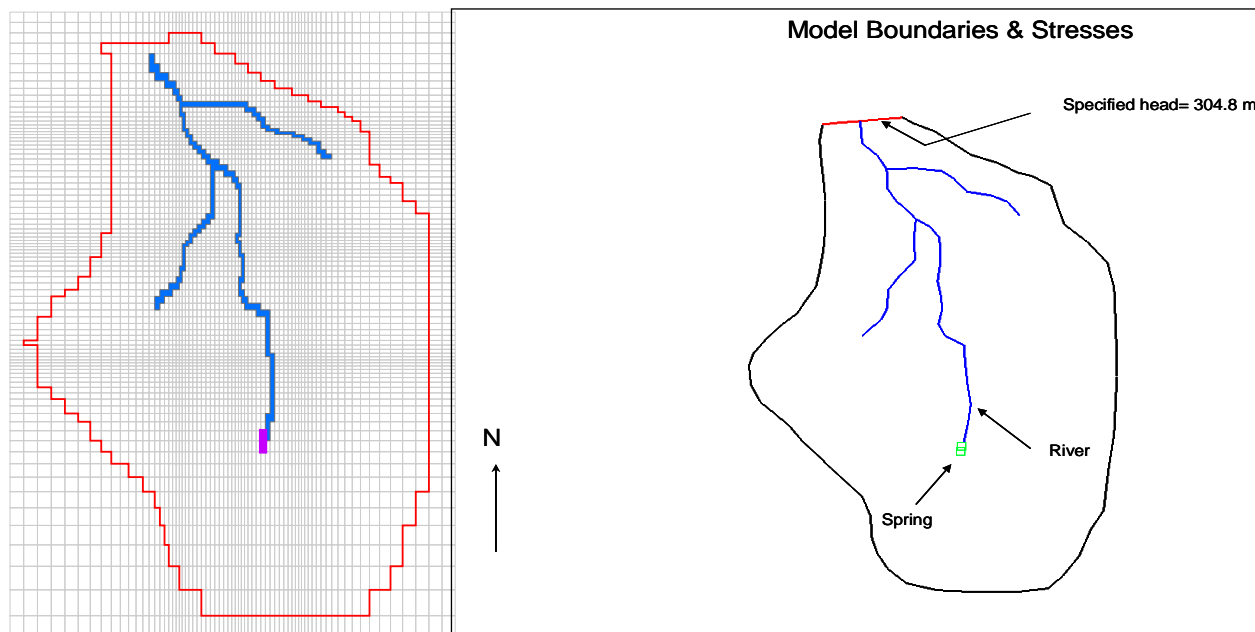
L'écoulement souterrain est vers la source, la rivière principale « Main River » et ses deux affluents. La source représente le début du « Main River » avec débit mensuel moyen d'environ 320 000 m³. Au nord, au-delà de la zone du modèle, « Main River » draine finalement dans un lac avec un niveau d'eau constant à 304,8 m.a.s.l. (au-dessous du niveau de la mer).

La topographie diminue graduellement du sud (353 m.a.s.l) au nord (335 m.a.s.l)



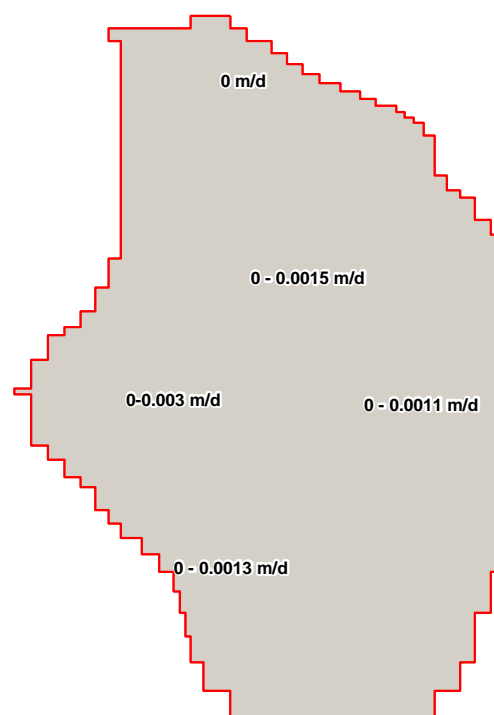
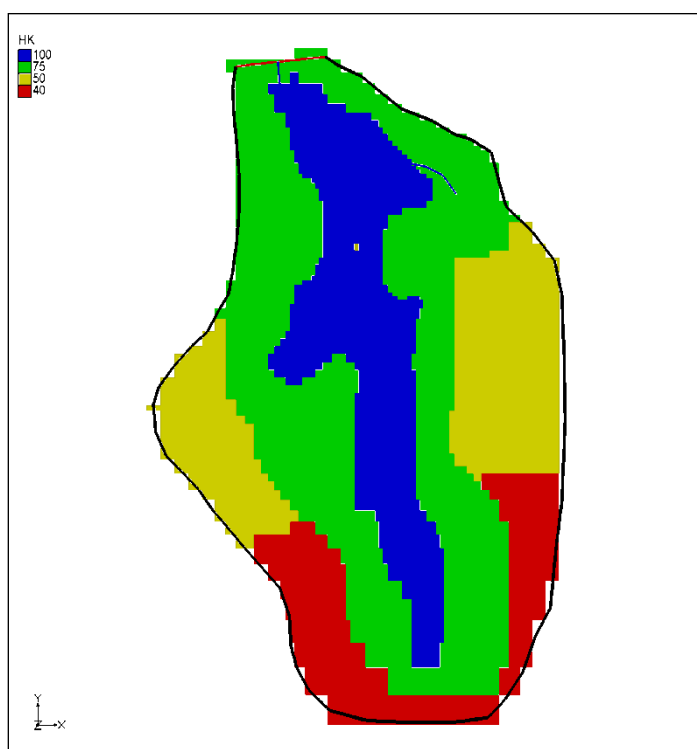
2.2 Modèle mathématique

Grille : le modèle se compose d'une couche (1 aquifère non confiné, épaisseur de la couche 60-80 m, épaisseur saturée 35-50 m) avec 80 x 70 éléments. Les dimensions des éléments varient en largeur et en hauteur entre 200 et 1200 m (voir figure en bas).



CONDITIONS LIMITES: charge imposée au nord (niveau du lac). Toutes les autres limites sont des limites à débit nul (voir figure plus haut).

CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE: les quatre zones de conductivité hydraulique pour le modèle sont montrées dans la figure suivante. La conductivité hydraulique de l'aquifère varie de 100 m/jour le long la vallée du fleuve à 40 m/jour vers les limites du bassin.

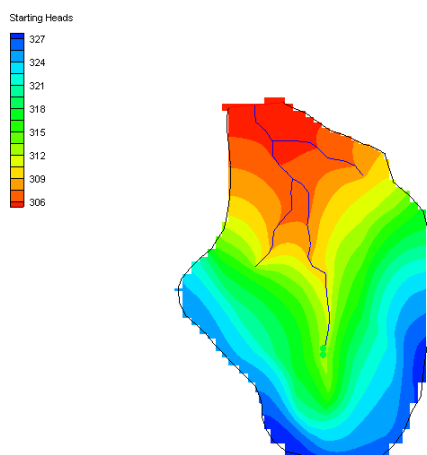


RECHARGE : 5 différentes zones de recharge sont définies. Leur valeurs varient de 0 à 0,0015 m/jour.

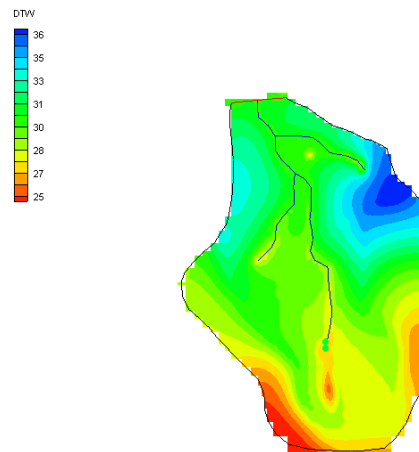
PACKAGES ADDITIONNELS : la source est représentée avec deux éléments « DRAIN » (en mauve dans la figure précédente) et les rivières par des éléments « RIVER » (en bleu dans la figure précédente).

CHARGE INITIALE : la charge initiale varie entre 306 et 327 m.a.s.l., résultant en une profondeur de la surface libre de l'eau de 25 à 36 m (voir figure en bas).

Charges initiales :



Profondeur de la surface d'eau libre :



Le modèle est construit et exécuté en conditions transitoires pour couvrir deux années de variation de la recharge. Il consiste en 24 périodes de stress, chacun avec 3 pas de temps égaux. Le bilan d'eau final (voir figure en bas- unités en m³ ou m³/jour) montre que le modèle est presque balancé ou proche de l'état stationnaire avec la recharge comme seule alimentation de l'aquifère et le fleuve comme la principale fraction de débits sortants.

1 VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 3 IN STRESS PERIOD 24				
CUMULATIVE VOLUMES		L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	
			L**3/T	

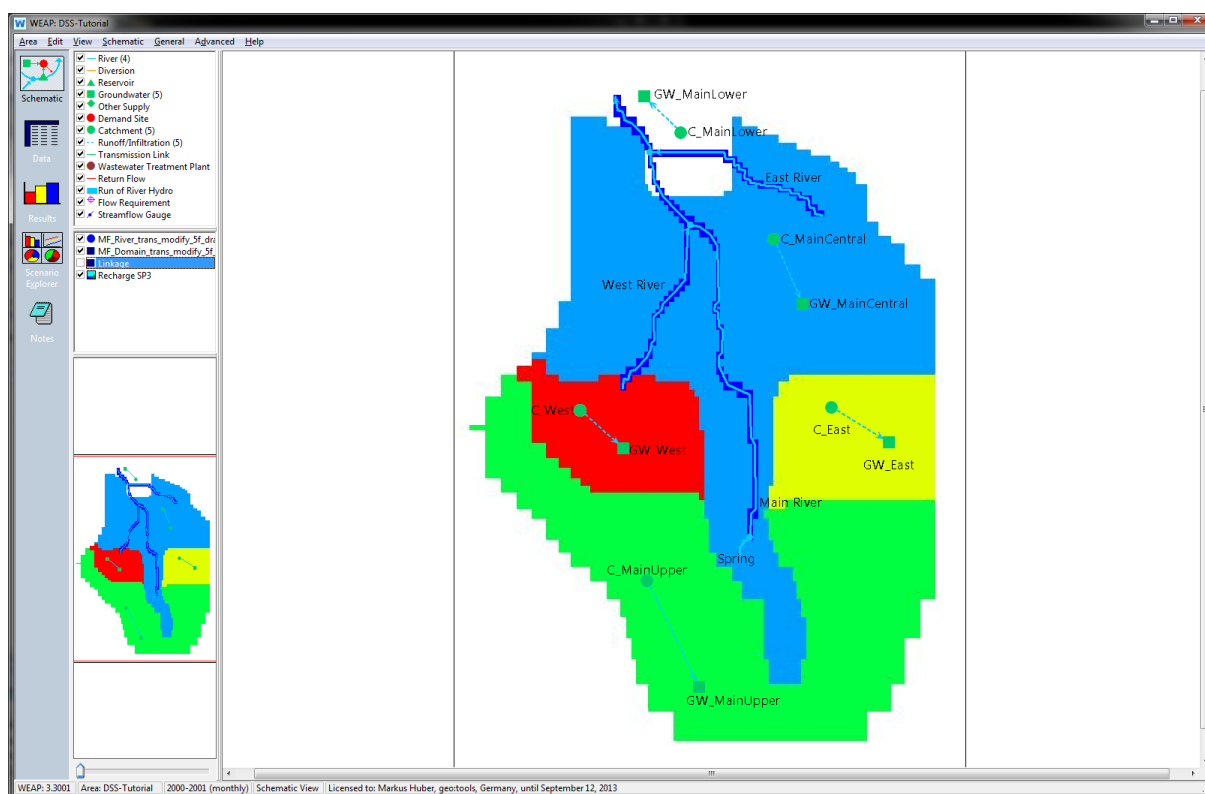
IN:			IN:	
---			---	
STORAGE =	158684992.0000		STORAGE =	25869.2949
CONSTANT HEAD =	0.0000		CONSTANT HEAD =	0.0000
DRAINS =	0.0000		DRAINS =	0.0000
RIVER LEAKAGE =	0.0000		RIVER LEAKAGE =	0.0000
RECHARGE =	357105632.0000		RECHARGE =	635431.5625
TOTAL IN =	515790624.0000		TOTAL IN =	661300.8750
OUT:			OUT:	
---			---	
STORAGE =	160023184.0000		STORAGE =	248629.9062
CONSTANT HEAD =	5145124.0000		CONSTANT HEAD =	6988.5078
DRAINS =	7527779.5000		DRAINS =	10904.8906
RIVER LEAKAGE =	343096672.0000		RIVER LEAKAGE =	394787.0938
RECHARGE =	0.0000		RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	515792768.0000		TOTAL OUT =	661310.3750
IN - OUT =	-2144.0000		IN - OUT =	-9.5000
PERCENT DISCREPANCY =	0.00		PERCENT DISCREPANCY =	0.00

3 Créer et Lier un Modèle WEAP Basé sur des Données MODFLOW

Au début, vous allez créer un nouveau projet « WEAP - Area » et lui dessiner un schéma. Les activités à suivre sont :

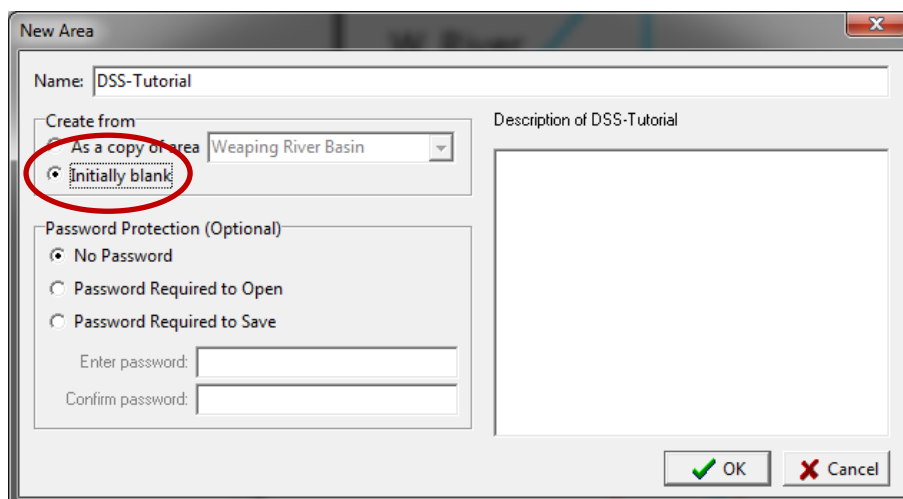
- Créer un nouveau projet « WEAP - Area »
- Définir les limites de la zone de travail
- Charger les couches de fond
- Digitaliser quatre fleuves
- Ajouter cinq sous-bassins versants « Catchments » et cinq nœuds eau souterraine « Groundwater ».

Le résultat obtenu va se ressembler à la figure suivante.

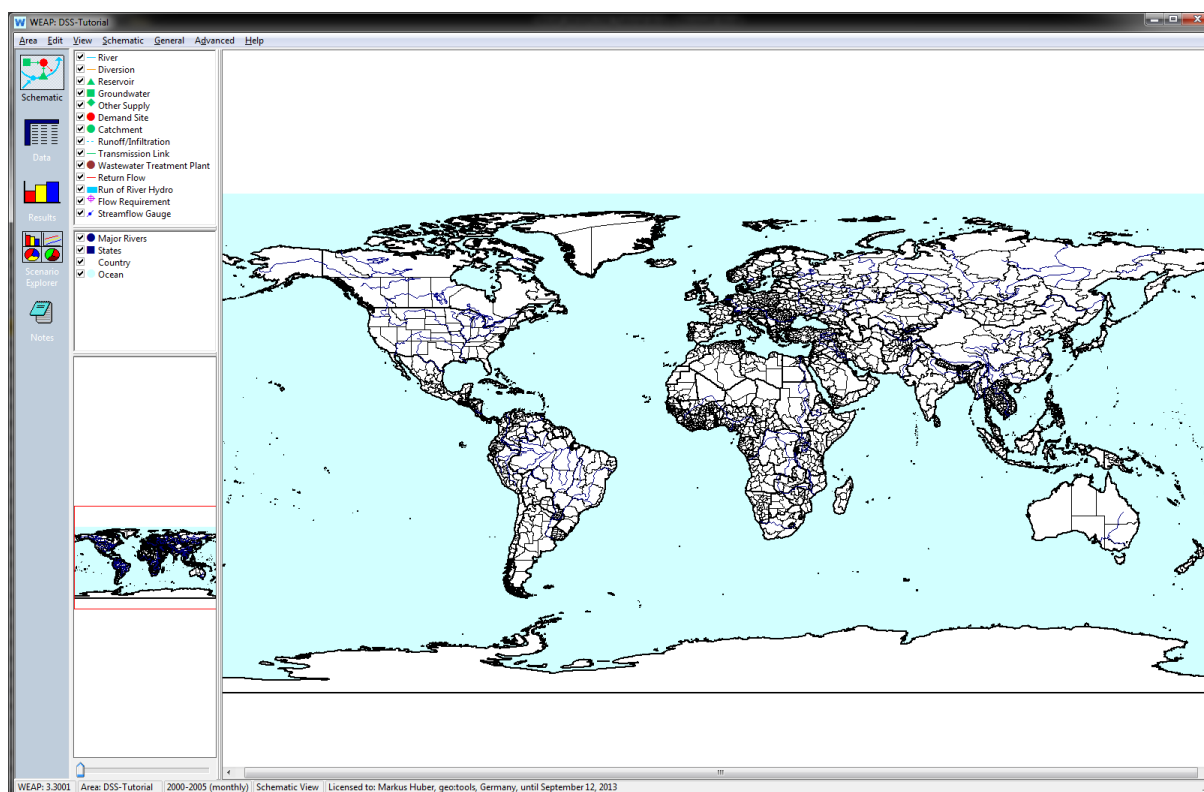


3.1 Créer un nouveau « WEAP - Area »

1. Dans le menu principal de WEAP, allez sur « Area → Create Area ». Dans la fenêtre suivante, créer un nouveau projet « Area » que sera *initialement vide* (initially blank) et lui donner le nom «DSS-Tutoriel »



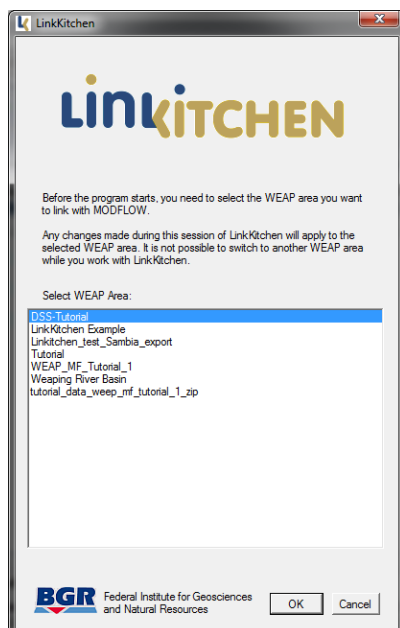
2. Cliquer sur « Ok » et ignorez la fenêtre suivante « Area boundry » en cliquant sur « Cancel ». Le modèle devrait se ressembler à la figure ci-dessous :



3.2 Commencer LinkKitchen

LinkKitchen est un utile basé sur les principes SIG désigné pour assister à la création du fichier de liaison « Linkage Shapefile » sans faire appel aux autres logiciels soit SIG ou tables. Il fournit toutes les fonctionnalités nécessaires pour produire le fichier de liaison et pour son attribution. En outre, il permet un paramétrage direct du modèle WEAP basé sur la liaison des attributs du fichier.

Si vous n'êtes pas encore familiarisé avec l'utilisation de LinkKitchen, on vous recommande de lire le manuel d'utilisateur avant de continuer avec ce tutoriel.



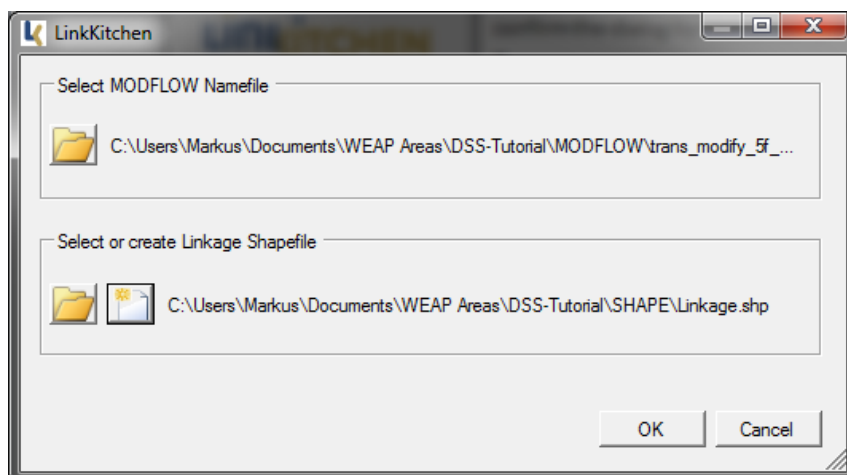
Gardez WEAP ouvert et démarrez LinkKitchen en parallèle.

Au démarrage vous êtes invité à sélectionner l'un de vos modèles WEAP sur lequel vous allez travailler. Sélectionnez « *DSS-Tutorial* » et confirmez en cliquant sur OK.

Dans la fenêtre suivante, LinkKitchen demande l'emplacement du modèle MODFLOW et le fichier de liaison. Recherchez le modèle MODFLOW qui vient avec les données du tutoriel et sélectionnez le nom du fichier « NameFile ». Comme le fichier de liaison n'existe pas encore, choisissez : créer un nouveau fichier de liaison.

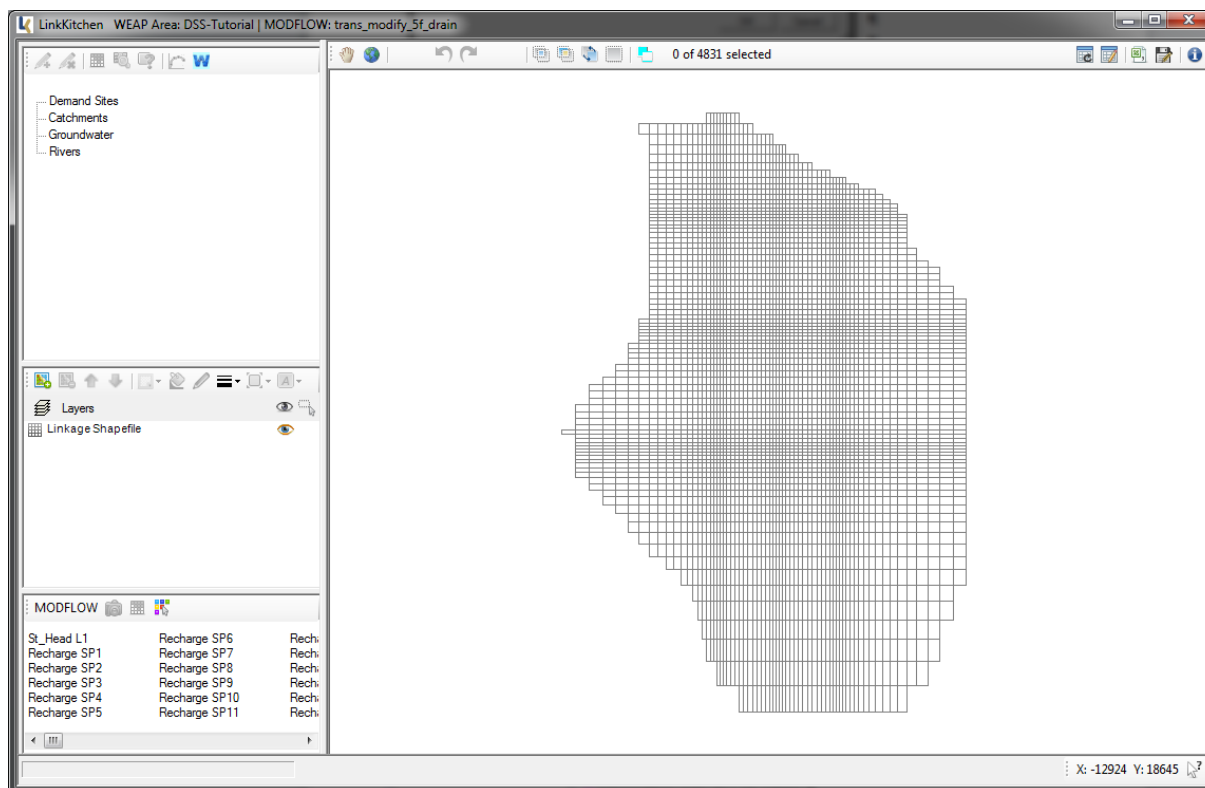
Une fois que vous confirmez avec OK, tous les fichiers MODFLOW seront copiés dans le répertoire standard du « WEAP-Area ».

LinkKitchen produit le fichier de liaison ainsi que deux autres « shapefiles » dans le fond. Ceux-ci seront utilisés lors des prochaines étapes.

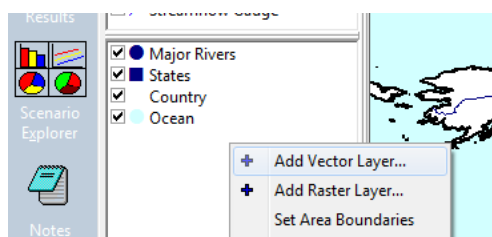


3.3 Définition des limites de « WEAP Area »

L'interface de LinkKitchen montrera une grille vide qui représente la géométrie de votre modèle MODFLOW. C'est le fichier de liaison.

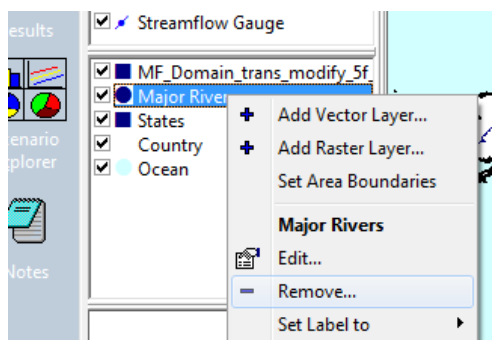


Revenez à WEAP (ne fermez pas LinkKitchen).

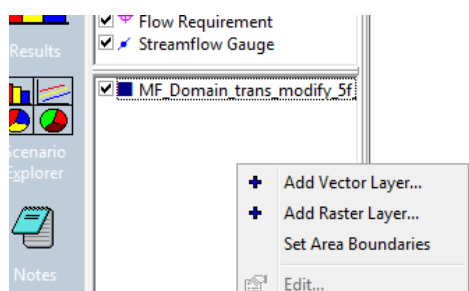


Faites un clic droit dans la fenêtre des couches et sélectionnez « Add Vector Layer » dans le menu contextuel.

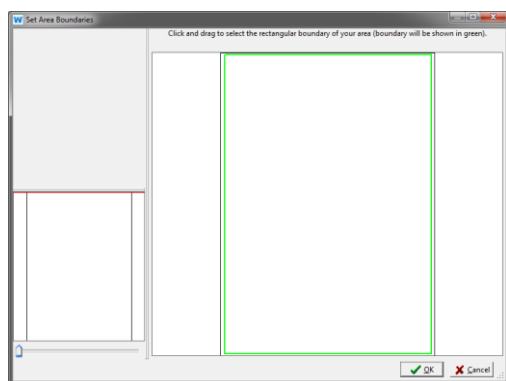
Accédez au répertoire de votre « WEAP Area » : WEAP Area « /SHAPE » et sélectionnez le fichier *MF_Domain_trans_modify_5f_drain.shp*. Ce fichier a été créé au démarrage de LinkKitchen et représente la limite spatiale du modèle MODFLOW. Vous allez utiliser ce fichier pour définir les limites du modèle.



Éliminez toutes les autres couches (Major Rivers, States, Country, Ocean) sauf *MF_Domain_trans_modify_5f_drain.shp*.



Faites un clic droit dans la fenêtre des couches et sélectionnez « *Set Area Boundaries* » dans le menu contextuel.

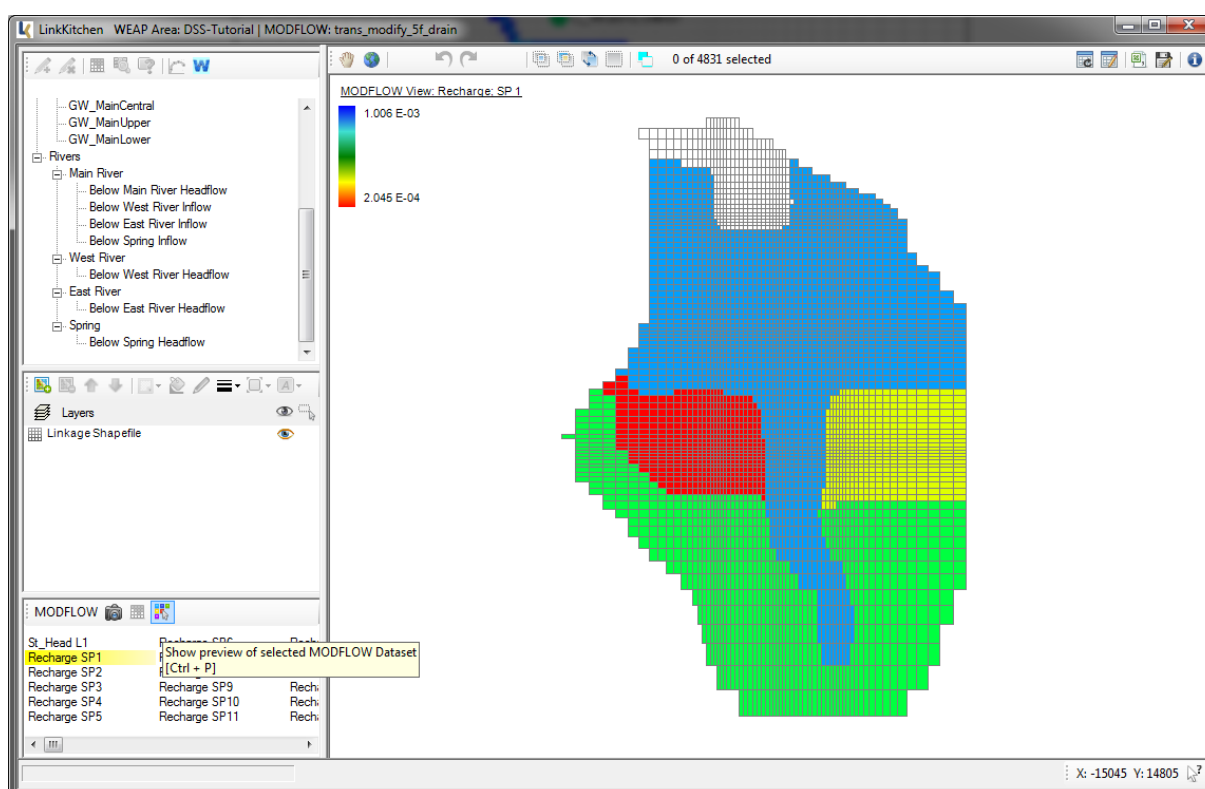


Dessinez un rectangle vert (la limite de la zone) autour de l'étendue complète du rectangle noir (qui mesure exactement le modèle MODFLOW) et confirmez en cliquant sur OK.

3.4 Ajouter des sous-bassins et des nœuds eaux souterraines au schéma

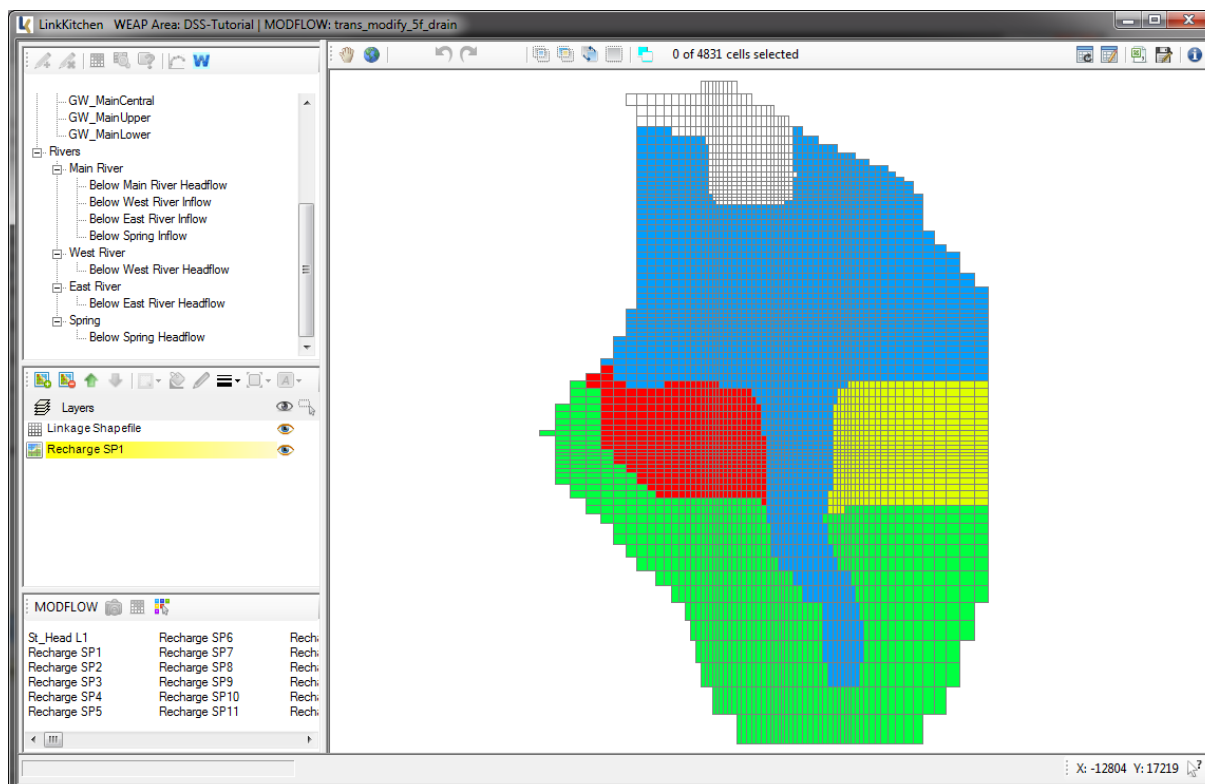
Il est supposé que MODFLOW est la seule source d'information sur la zone du modèle. Les sous-bassins et les nœuds des eaux souterraines sont donc délimités par les zones avec recharge uniforme. Vous utiliserez LinkKitchen pour délimiter le bassin versant et les zones des eaux souterraines dans WEAP.

1. Passez en LinkKitchen et recherchez la couche « *Recharge SP1* » de MODFLOW dans MODFLOW-Viewer. Cliquez sur le bouton « *Preview* » pour visualiser les zones de recharge.

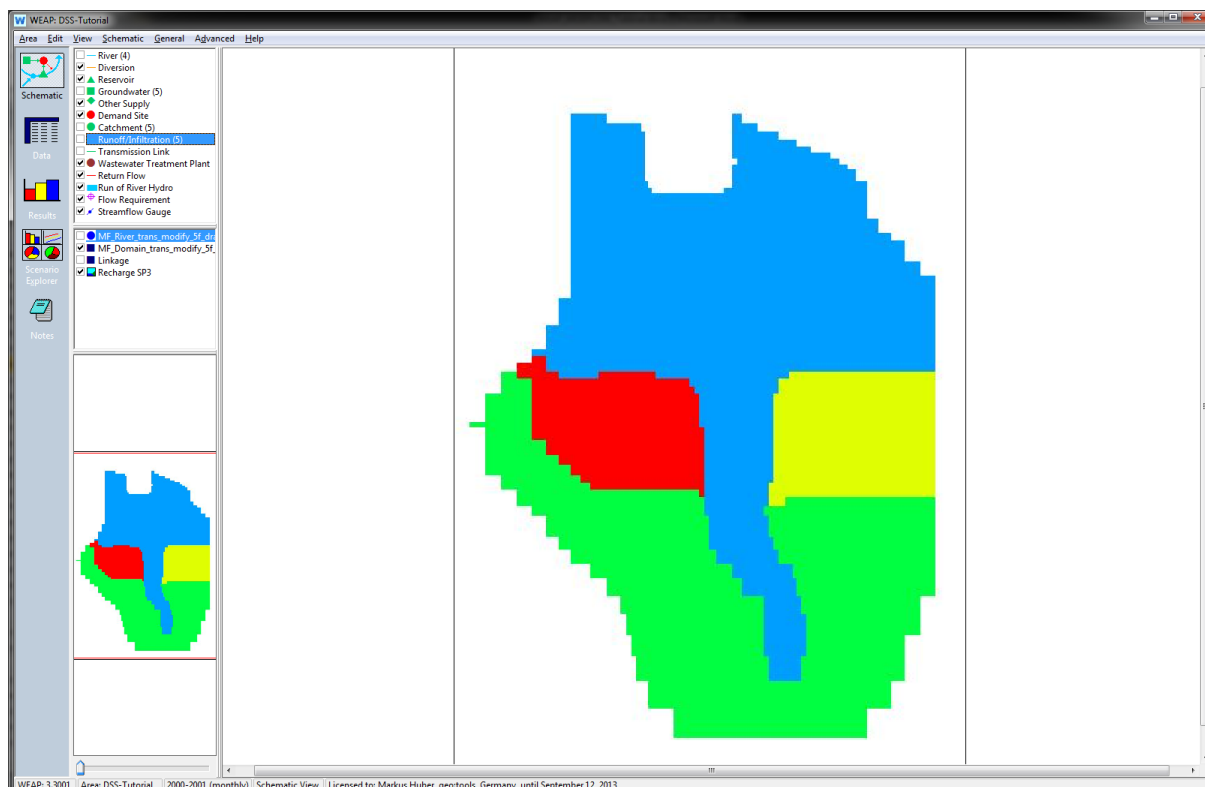


2. Cliquez sur le bouton « *Make Snapshot* » pour sauvegarder l'image d'une façon permanente sur le disque. L'image apparaît dans la liste des couches en tant que une couche de fond régulier.

A ce stade, les zones de recharge sont sauvegardées comme un fichier image au format JPEG dans le répertoire « WEAP-area ». Le fichier ne contient aucune information à part d'une couleur différente pour chaque zone.



3. Revenez à WEAP et chargez le fichier "Recharge_SP1.jpg" comme une couche de fond pour le schéma.

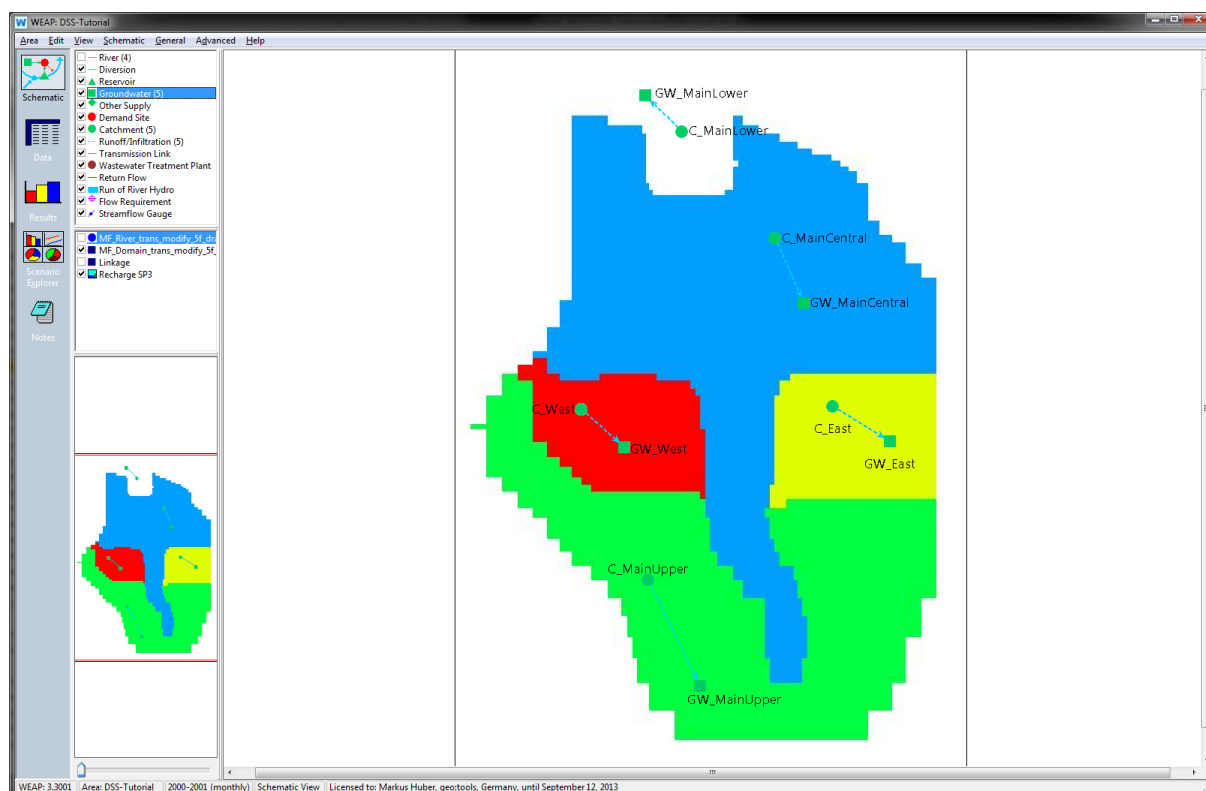


Cinq zones de recharge différentes sont définies dans le modèle MODFLOW. Vous allez prendre ces zones comme un plan pour la délimitation des sous-bassins versants et les WEAP-nœuds des eaux souterraines.

1. Faites glisser et déposez un nœud « Catchment » et un nœud « Groundwater » pour chaque zone de recharge sur le schéma.
2. Liez les nœuds « Catchment » et « Groundwater » par des liens de type « infiltration ».

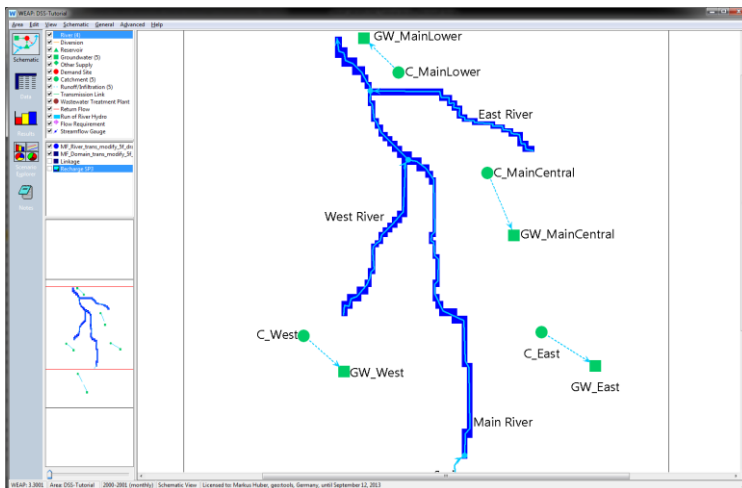
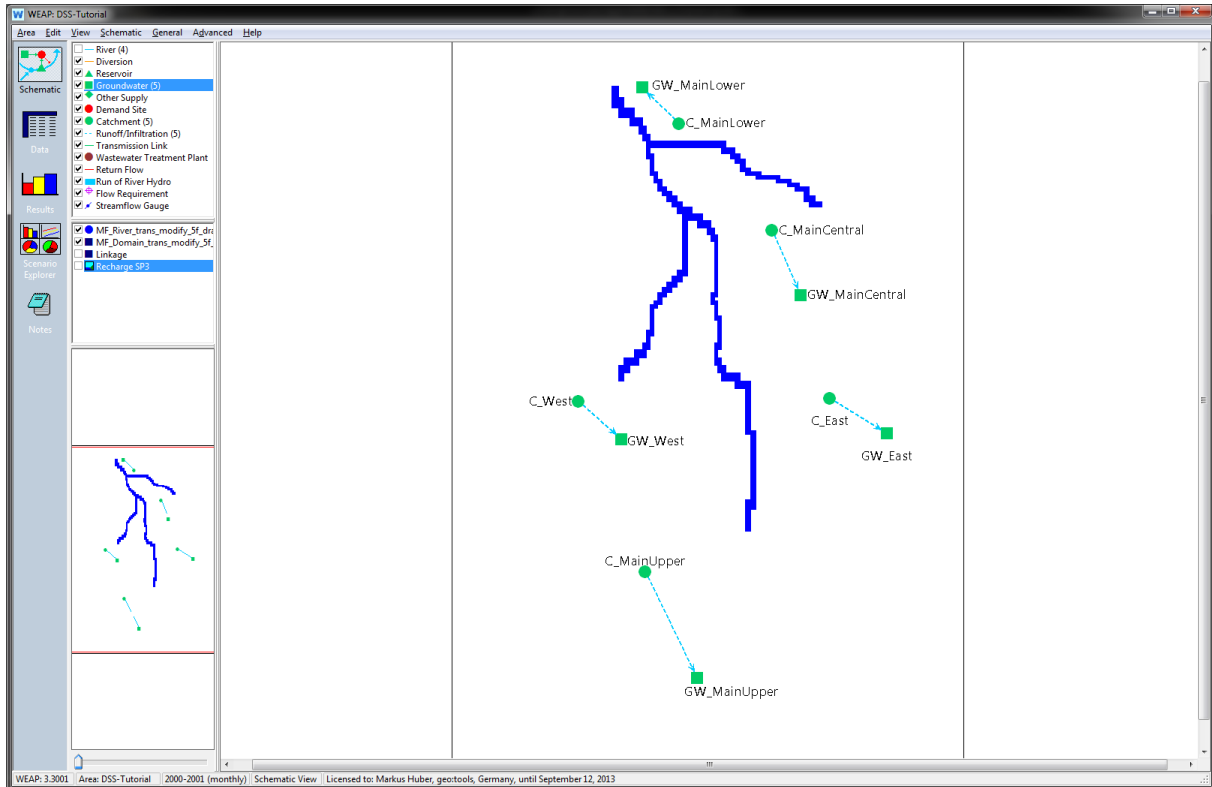
Name du sous-bassin	liaison	Name du nœud d'eau souterraine
C_East	infiltration link	GW_East
C_MainCentral	infiltration link	GW_MainCentral
C_MainLower	infiltration link	GW_MainLower
C_MainUpper	infiltration link	GW_MainUpper
C_West	infiltration link	GW_West

REMARQUE: Il est recommandé d'ajouter le préfixe "C_" devant les noms des bassins versants et le préfixe «GW_» devant les noms des nœuds des eaux souterraines afin d'éviter la confusion entre les noms identiques des nœuds en eaux souterraines, bassins et des sites de demande.

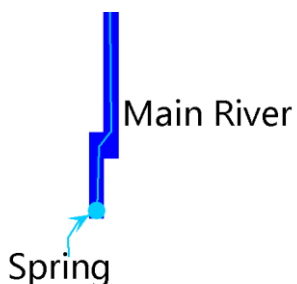


3.5 Ajouter des rivières au Schéma

1. Ajoutez le fichier *MF_River_trans_modify_5f_drain.shp* (situé dans le dossier SHAPE dans le répertoire de WEAP-Area) au Schéma, et attribuez-le une couleur bleu « solid ».



2. Faites glisser et déposez des nœuds de type « River » sur le parcours de la rivière et digitalisez chaque rivière dans le sens d'écoulement sur la zone bleue. Les noms des rivières sont *Main River*, *East River* and *West River*. *East River* et *West River* sont les affluents de *Main River*.

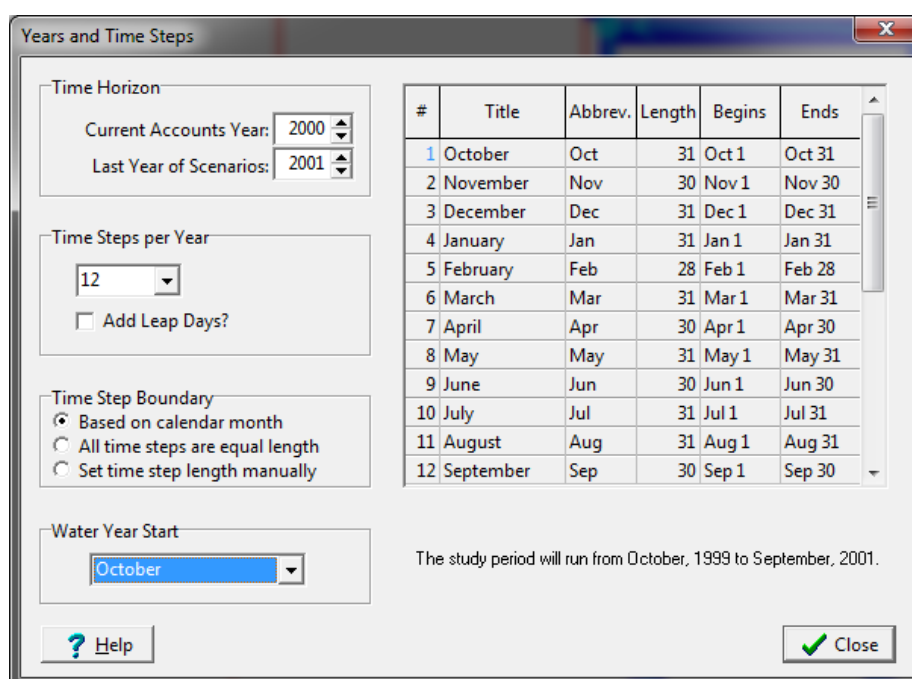


3. Une quatrième rivière doit être digitalisée en plus des trois rivières. En MODFLOW, il est représenté par deux éléments de drainage en amont de la *Main River*. Cette rivière est nommée *Spring* (elle représente une source d'eau).

3.6 Ajuster la période d'exécution du model dans WEAP

Afin d'assurer que les calculs de WEAP corrént correctement avec le modèle MODFLOW, ajustez le pas de temps de WEAP et le mois de départ selon les périodes de stress de MODFLOW (ici : Octobre 1999 – Septembre 2001).

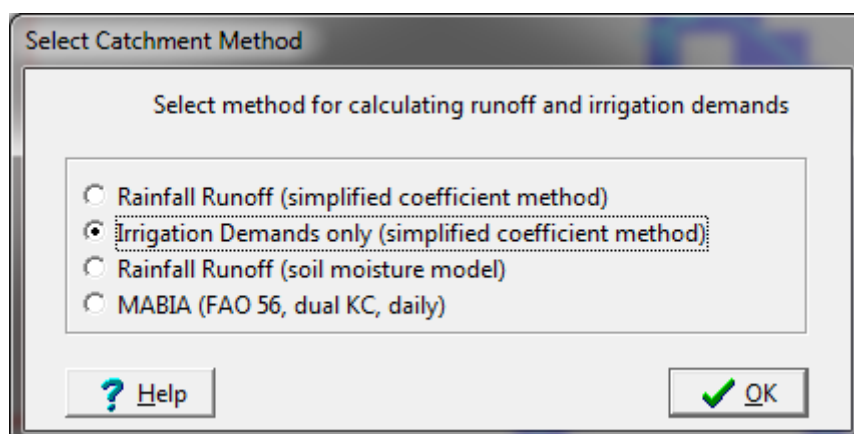
Ceci est réalisé en utilisant l'item du menue *General* → « *Years and Time Steps* ».



Initialement vous n'allez pas utiliser aucun model interne de WEAP pour calculer le ruissellement de surface, la recharge et la demande d'irrigation. Donc, choisissez dans :

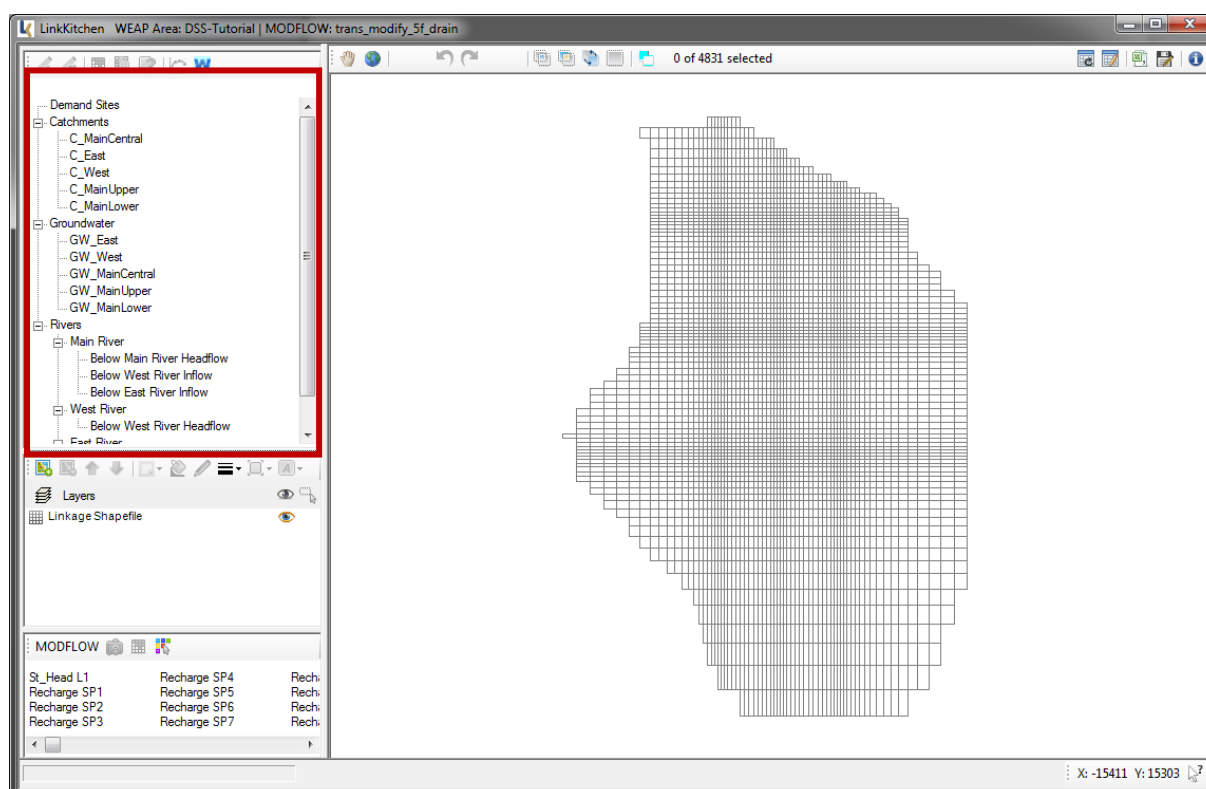
Data View → *Demand Sites and Catchments* → *Advanced*

la méthode : « Irrigation demand only (FAO) »



3.7 Définir des bassins versants et des eaux souterraines dans le fichier de liaison

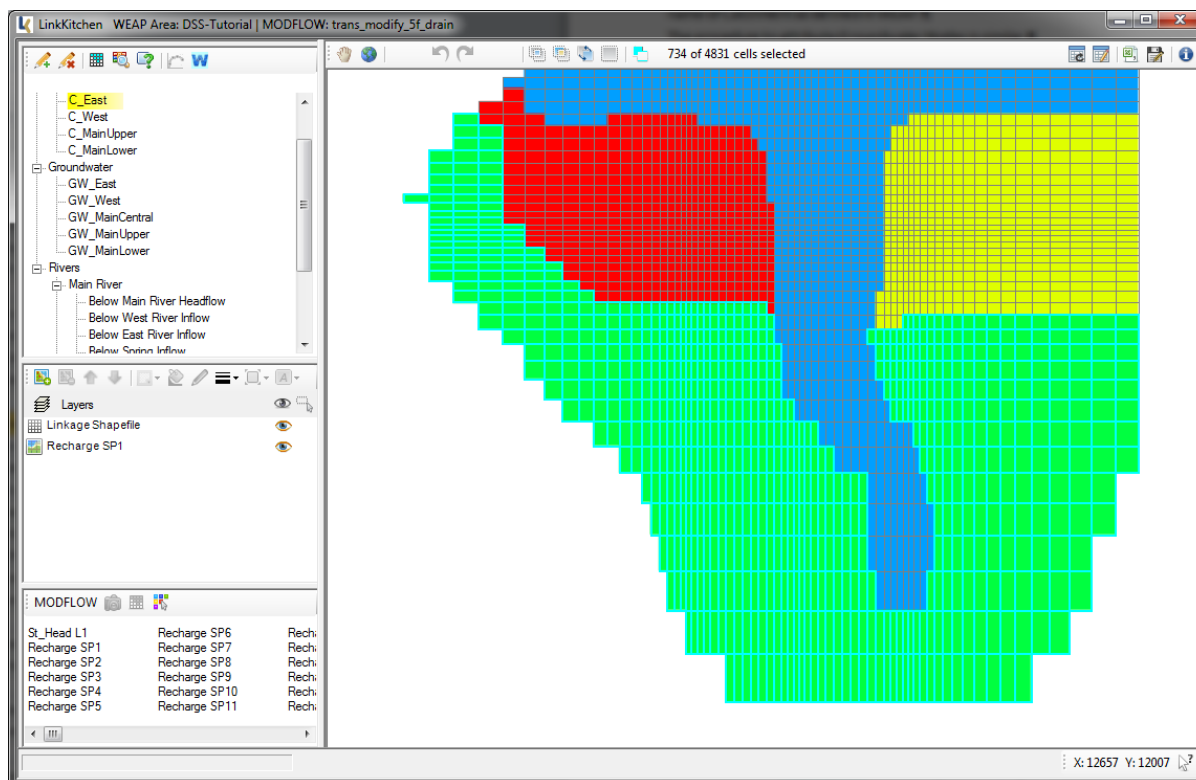
Revenez à LinkKitchen et voyez comment il reflète les modifications que vous venez de faire dans WEAP. Les nœuds que vous avez ajoutés au schéma sont maintenant visibles dans la vue de contrôle de LinkKitchen. Au cours des étapes suivantes, vous allez lier des éléments du fichier de liaison avec des bassins versants, des eaux souterraines et des rivières.



Comme vous avez les zones de recharge en arrière-plan, vous allez utiliser ces zones comme des stencils pour la sélection des éléments. Utilisez l'outil de sélection dans LinkKitchen (voir Manuel d'utilisateur de LinkKitchen) pour sélectionner les éléments correspondant aux zones de recharge. Les éléments ainsi sélectionnés sont ensuite attribués par le nom du bassin versant tel que défini dans WEAP.

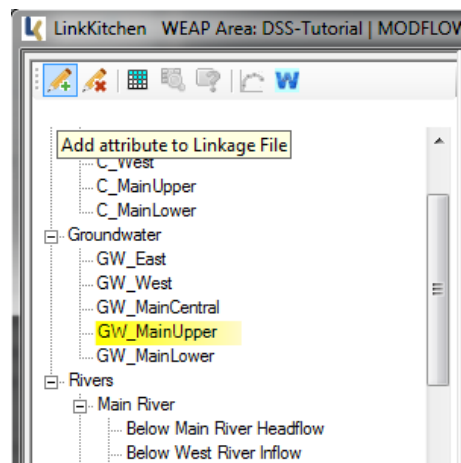
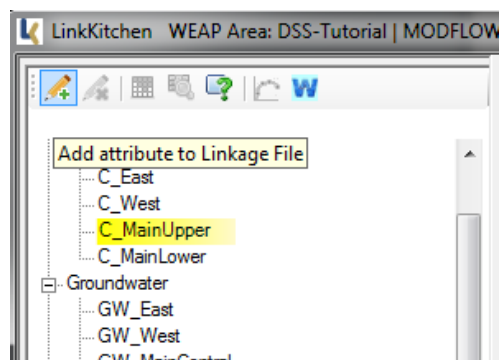
La procédure d'attribution pour les nœuds des eaux souterraines est identique.

1. Sélectionnez toutes les éléments situés dans la zone verte (C_Main Upper).



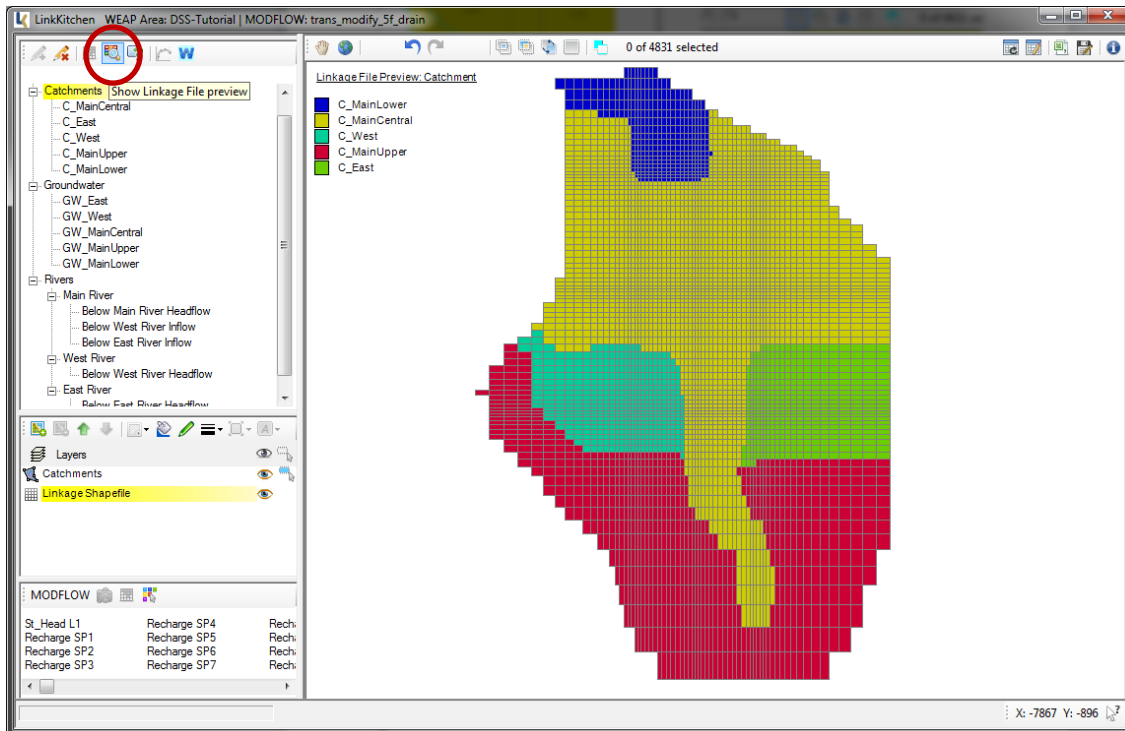
2. Surlignez *C_MainUpper* dans la vue de contrôle de l'arbre et cliquez sur « Add Attribute to Linkage File ». Cela va écrire le nom de cette branche dans le fichier de liaison.

3. Surlignez *GW_MainUpper* et puis cliquez sur « Add Attribute to Linkage File ».



3. Répétez les étapes 1 et 2 pour les autres bassins versants.

4. Surligner la racine des branches « *Catchments* » et regardez le fichier de liaison:

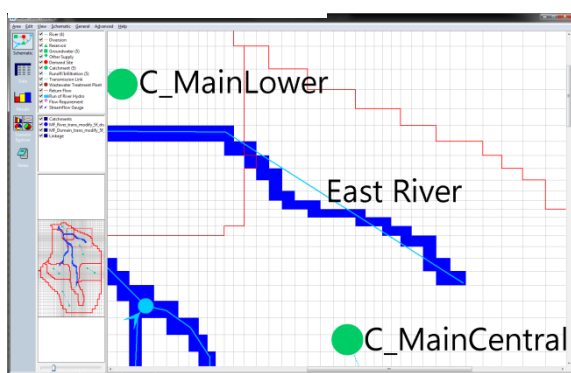


3.8 Définir des rivières dans le fichier de liaison

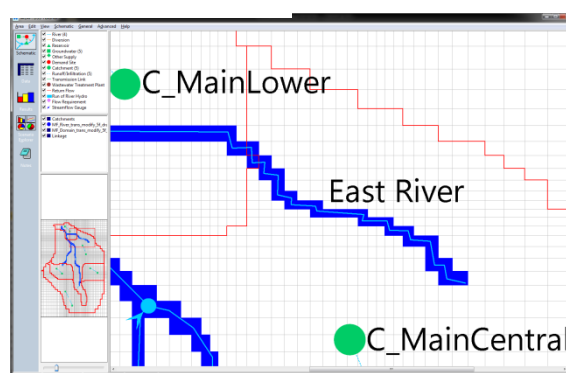
Dans WEAP, une rivière est définie comme une «chaîne» de tronçons, sections avec des nœuds d'entrée ou de sortie d'eau. Tout tronçon de rivière nécessite d'avoir une représentation dans le fichier de liaison.

Il y a deux différentes méthodes pour attribuer les tronçons d'une rivière dans le fichier de liaison. La méthode à choisir dépend de la précision dont vous avez digitalisée les rivières dans le Schéma de WEAP. Si les rivières WEAP sont digitalisées d'une façon très précise sans aucun chevauchement des lignes des rivières en dehors des éléments bleus, vous pouvez opter pour la méthode 2. Si les rivières sont grossièrement digitalisées autour des éléments bleus, choisissez la première méthode. Les deux méthodes sont décrites dans la section suivante.

Simpliste → Méthode 1



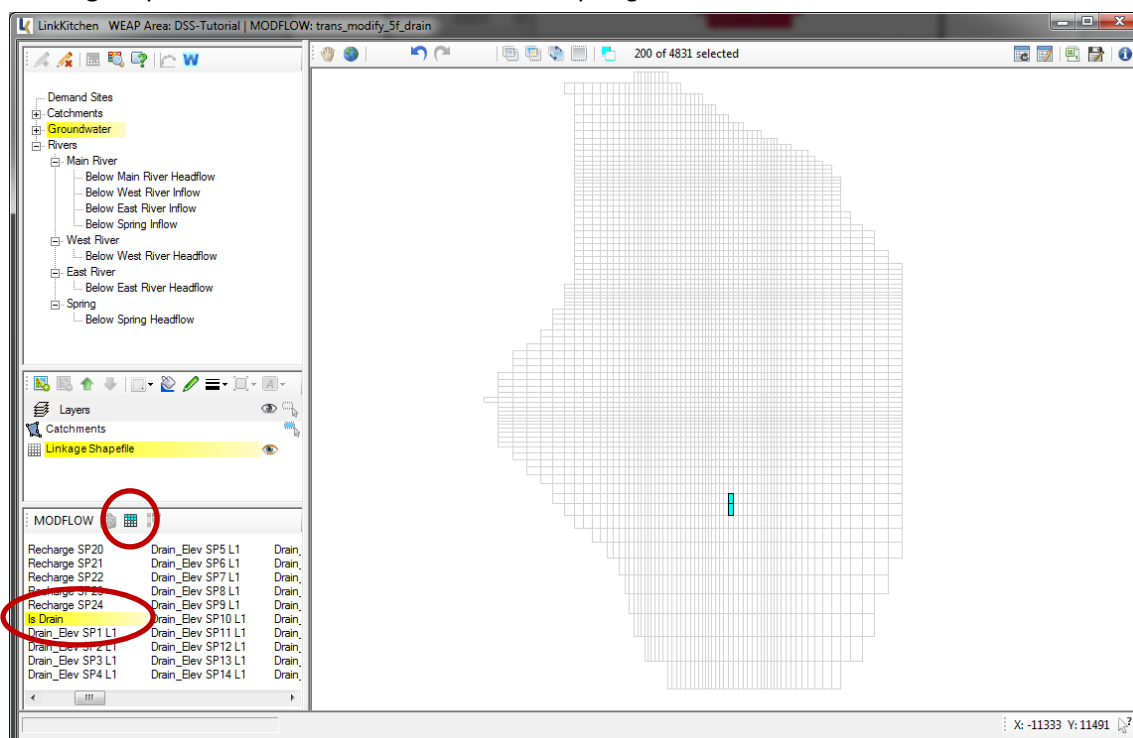
Précis → Méthode 2



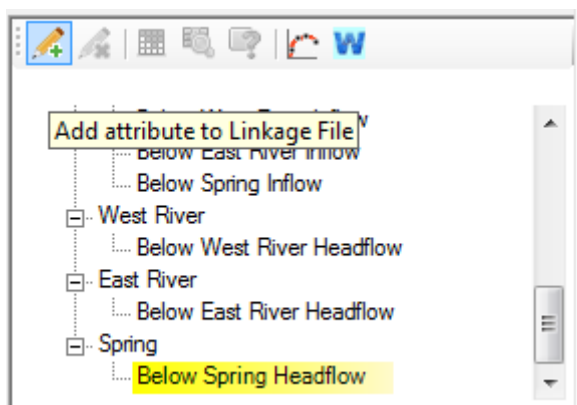
Méthode 1:

La procédure d'attribution de tronçons dans les éléments du fichier de liaison est similaire à la procédure d'attribution des bassins versants, sauf que vous commencez à partir de l'information que vous obtenez de MODFLOW plutôt que à partir d'un fichier « shapefile ».

1. Dans le MODFLOW-Viewer, accédez à la couche *IsDrain* et cliquez sur *select*. Les éléments de drainage représentent la source de la rivière « *Spring* » dans WEAP.

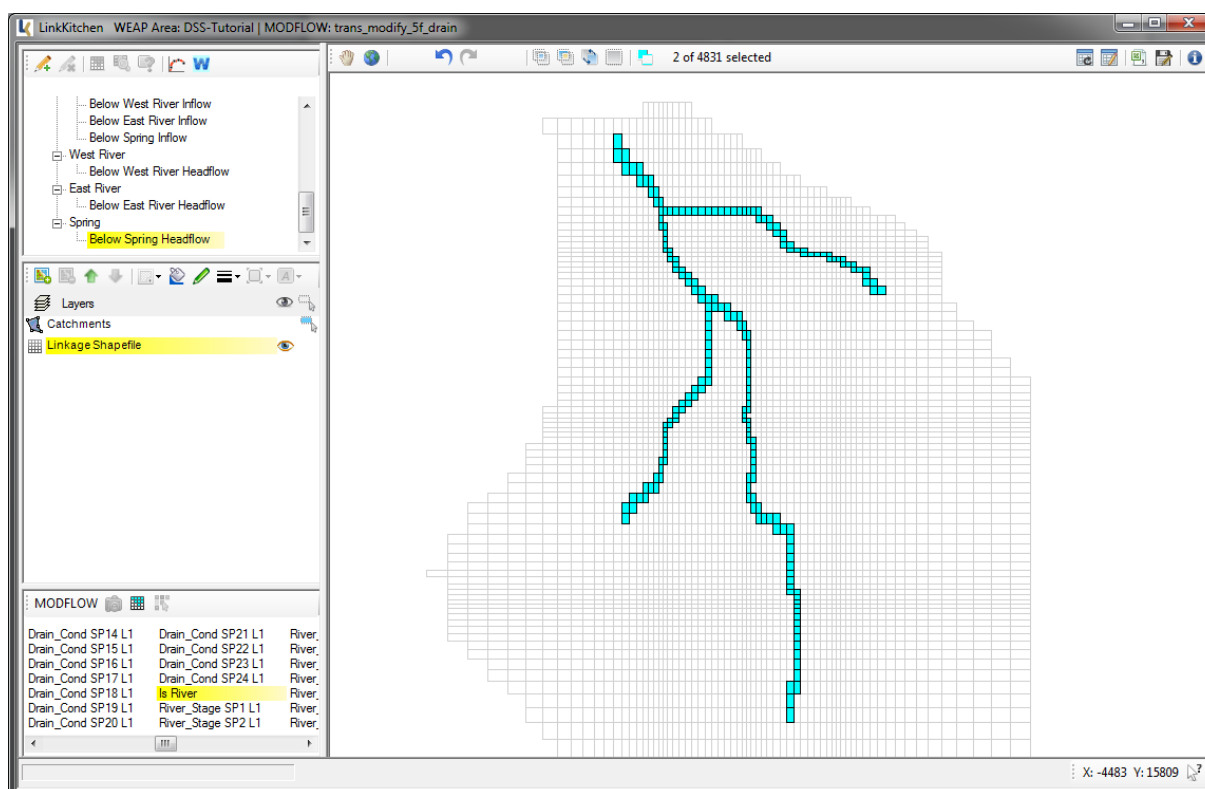


2. Surlignez le tronçon *Below Spring Headflow* dans la vue de contrôle et cliquez sur *Add Attribute to Linkage File*.



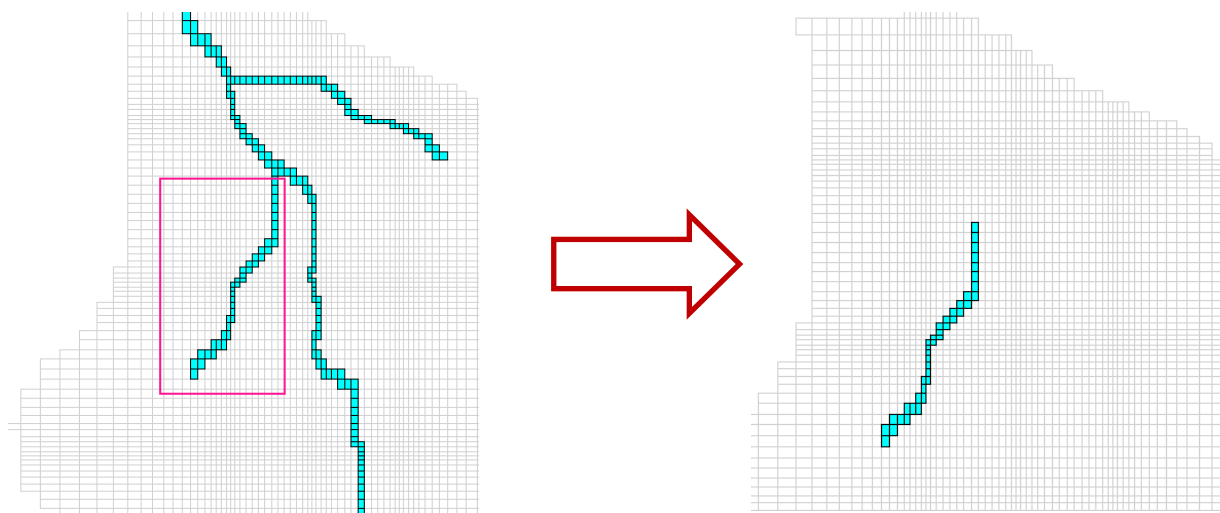
Les deux éléments de drainage sont maintenant liés au tronçon *Below Spring Headflow* dans WEAP.

3. Accédez à la couche *IsRiver* dans MODFLOW-Viewer pour sélectionner les éléments de la rivière.



4. Utilisez les outils de sélection de LinkKitchen pour une sous sélection des éléments correspondants aux rivières dans WEAP.

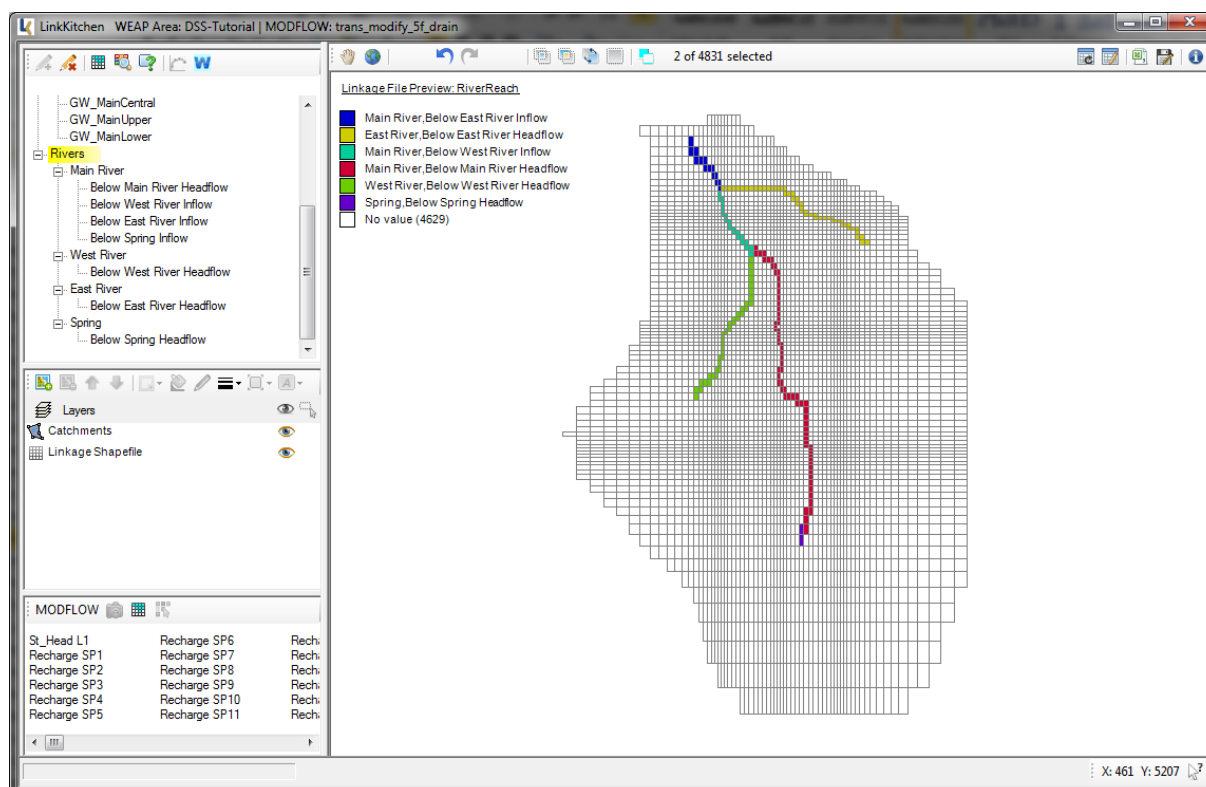
Par exemple : Cliquez et maintenez la touche « *alt* » tout en dessinant un rectangle autour de *West River* afin de sélectionner les éléments de cette même rivière.



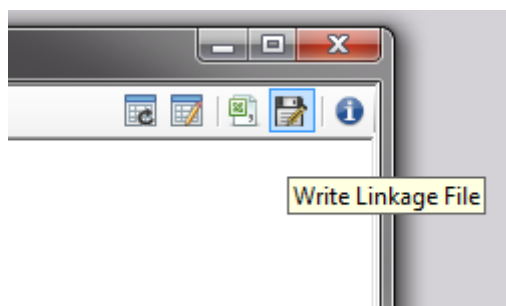
5. Surlignez le tronçon au-dessous de débit de tête de *West River* « Below West River Headflow » dans la vue de contrôle et cliquez sur *Add Attribute to Linkage File*.

6. Répétez les deux dernières étapes pour tous les autres tronçons.

L'aperçu de l'attribution de la rivière doit montrer une image similaire à l'image ci-dessous:

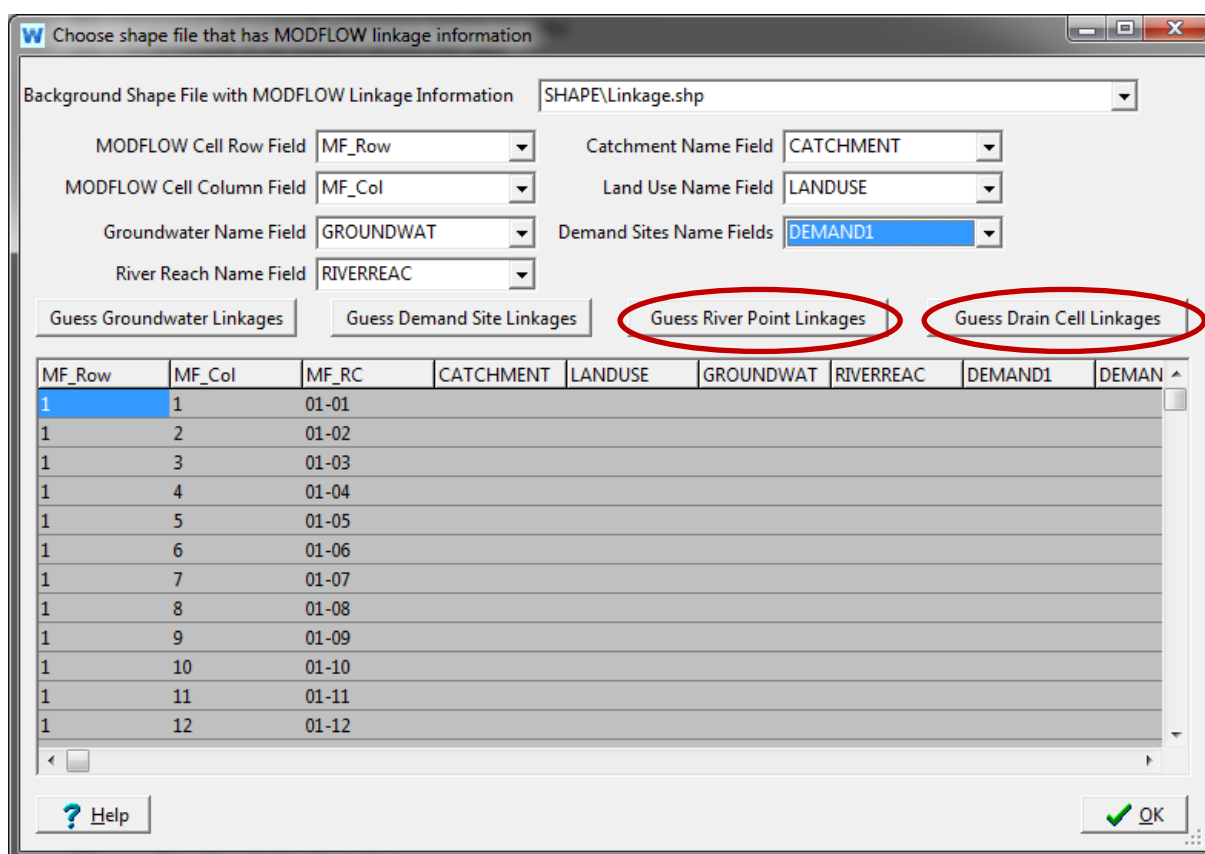


Sauvegardez le fichier de liaison sur le disque en cliquant sur le bouton *Write Linkage File*



Méthode 2:

Vous pouvez faire WEAP deviner les tronçons et les drains en fonction de la digitalisation de vos rivières dans le Schéma. Pour faire travailler cette procédure, il est nécessaire d'abord de lier **WEAP et MODFLOW**. Continuez avec le prochain chapitre et une fois que vous êtes sur le point de lier WEAP avec MODFLOW, cliquez sur les Boutons *Guess River Point Linkages* et *Guess Drain Cell Linkages* (chapitre 3.11).




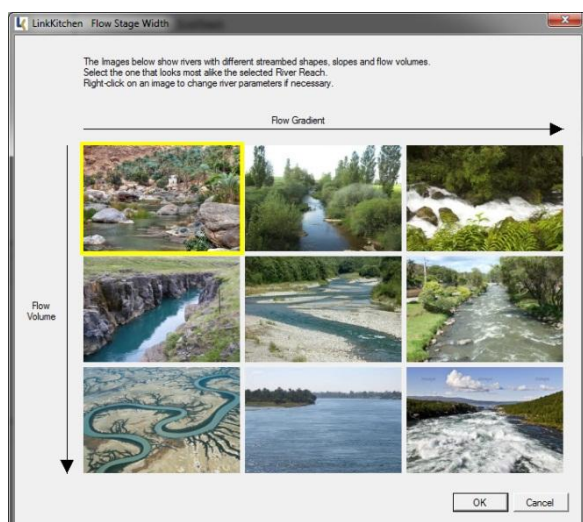
Remarque: il est recommandé de sauvegarder le fichier de liaison fréquemment afin de ne pas perdre vos modifications. Le fichier est remplacé à chaque sauvegarde.

3.9 Définir la relation DEBIT-HAUTEUR-LARGEUR

Afin de permettre à WEAP de calculer correctement les fonctions relatives aux « rivières », vous avez besoin d'assigner un paramètre nommé « FlowStageWidth relationship ». Ce paramètre (ou ensemble de paramètres) décrit les propriétés physiques d'une rivière et de son lit, cela est la base pour WEAP pour calculer les interactions entre l'aquifère et la rivière. Si vous configurez un WEAP-modèle à base des informations d'un modèle MODFLOW, il est probable que les informations nécessaires sur les rivières manquent.

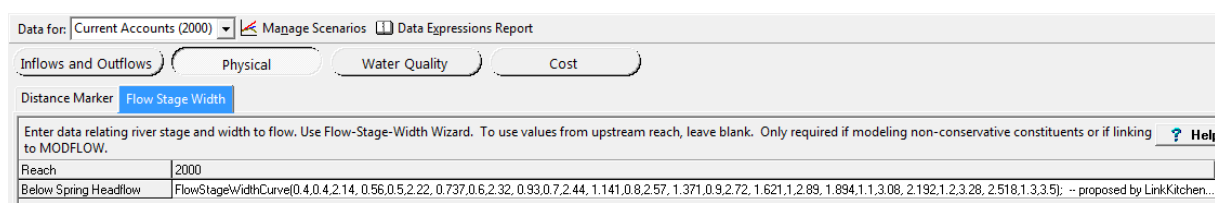
LinkKitchen fournit une méthode assez pragmatique pour affecter la relation débit-hauteur-largeur avec des paramètres normalisés.

1. Passez en LinkKitchen et surlignez le tronçon *Spring, Below Spring Headflow*.
2. Cliquez sur le Commande  pour ouvrir la fenêtre débit-hauteur-largeur. Cette fenêtre affiche neuf images de rivières de tailles diverses. Faites un clic gauche sur l'image en haut gauche (cette image devrait se rapprocher le plus d'une source).



LinkKitchen va produire une courbe débit-hauteur-largeur en fonction des paramètres enregistrés avec l'image (pour plus de détails, voir le guide d'utilisation de LinkKitchen).

3. Cliquez sur le WEAP-bouton pour envoyer la courbe dans WEAP et puis vérifiez le résultat *Supply and Resources* → *River* → *Below Spring Headflow* → *Reaches* → *Physical* → *Flow Stage Width*



Notez que la courbe peut être modifiée dans WEAP en utilisant le *Flow-Stage-Width-Wizard*.

Répétez les étapes 1-3 pour toutes les autres rivières.

3.10 Envoyer les données du fichier de liaison à WEAP

Dans l'approche actuellement utilisée, vous utilisez dans WEAP les entrées initiales du modèle MODFLOW plutôt que l'un des modèles intégrés dans WEAP pour le calcul de la recharge des eaux souterraines. Les valeurs de la recharge des eaux souterraines récupérées de MODFLOW seront des entrées dans WEAP.

Data View → *Supply and Resources* → *Groundwater* → *Natural Recharge*.

En tant que second paramètre obligatoire, vous devez entrer les surfaces des bassins versants dans WEAP

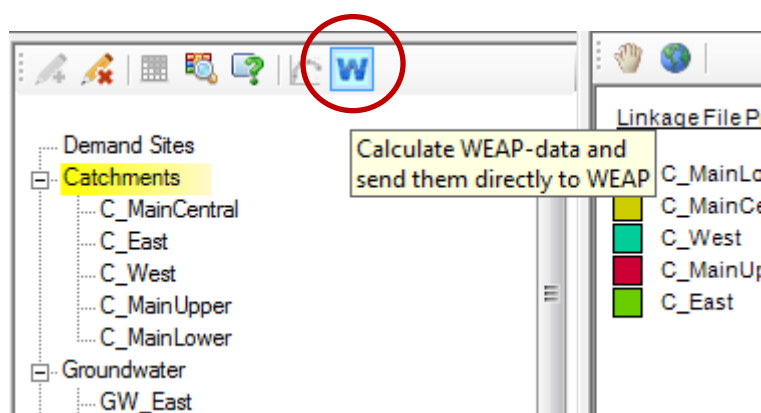
Data View → *Demand Sites and Catchments* → *Landuse* → *Area*

Les deux paramètres sont calculés par LinkKitchen et peuvent être envoyés automatiquement comme entrées à la position correcte dans WEAP.

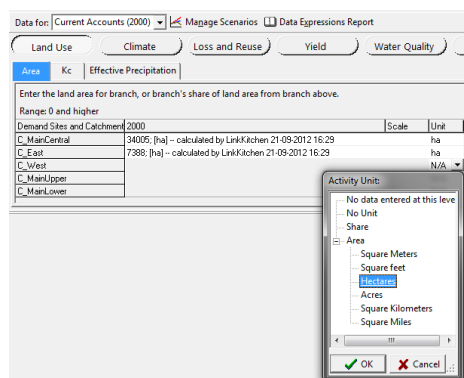
3.10.1 Envoyer les surfaces des bassins versants dans WEAP

Les surfaces des bassins versants sont calculées par LinkKitchen et peuvent être envoyées à WEAP par un seul clic de souris:

1. Surlignez la racine des bassins versants « Catchments » et cliquez sur le bouton WEAP dans la barre d'outils supérieure

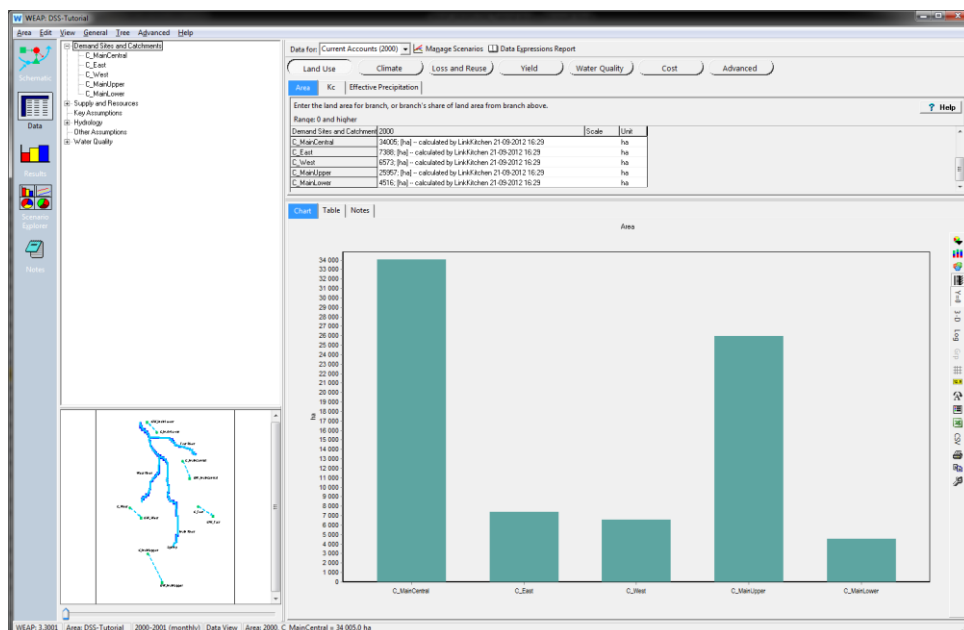


2. Passez en WEAP et accédez à *Data View* → *Demand Sites and Catchments* → *Landuse* → *Area*



Si les unités de surface ne sont pas encore définies, vous devez sélectionner *hectares* afin de rendre les entrées visibles.

La distribution des surfaces devrait ressembler à ce qui suit:



3.10.2 Envoyer la recharge des eaux souterraines dans WEAP

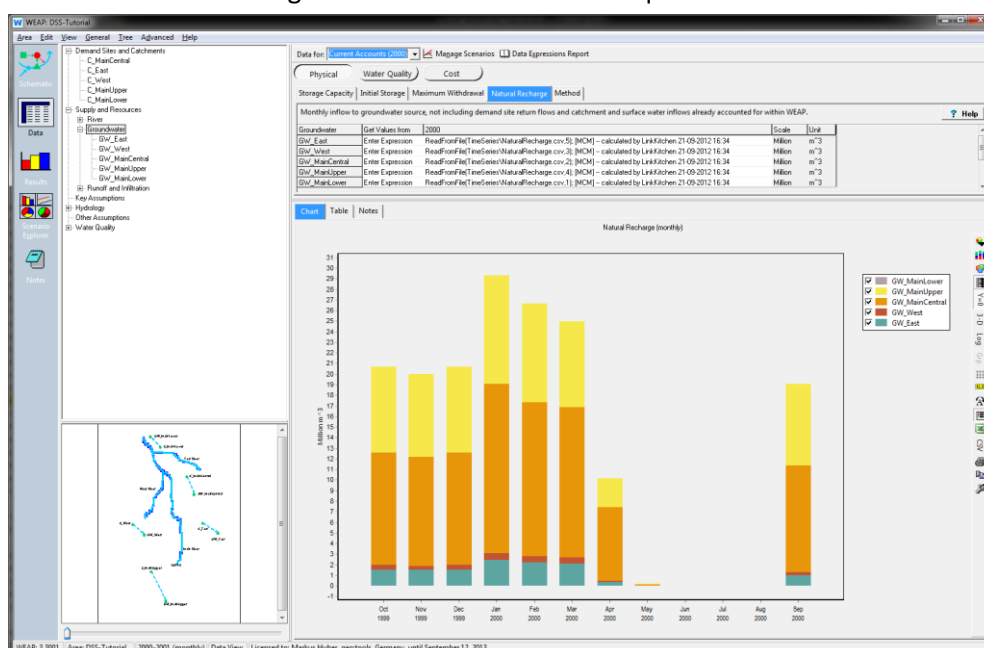
La procédure pour envoyer la recharge naturelle dans WEAP est similaire à l'envoi des surfaces des bassins versants.

1. Surlignez la racine des eaux souterraines « Groundwater » et cliquez sur le bouton WEAP dans la barre d'outils supérieure
2. Passez en WEAP et accédez à *Data View* → *Supply and Resources* → *Groundwater* → *Natural Recharge*.

Remarque: LinkKitchen calcule toutes les valeurs de recharge en millions de m³ qui est l'échelle par défaut pour la recharge naturelle dans WEAP. Vérifier et changer l'échelle si nécessaire!

General → *Units* → *Groundwater*: changez l'échelle à *Million m³*.

Les valeurs de la recharge devraient ressembler à ce qui suit:



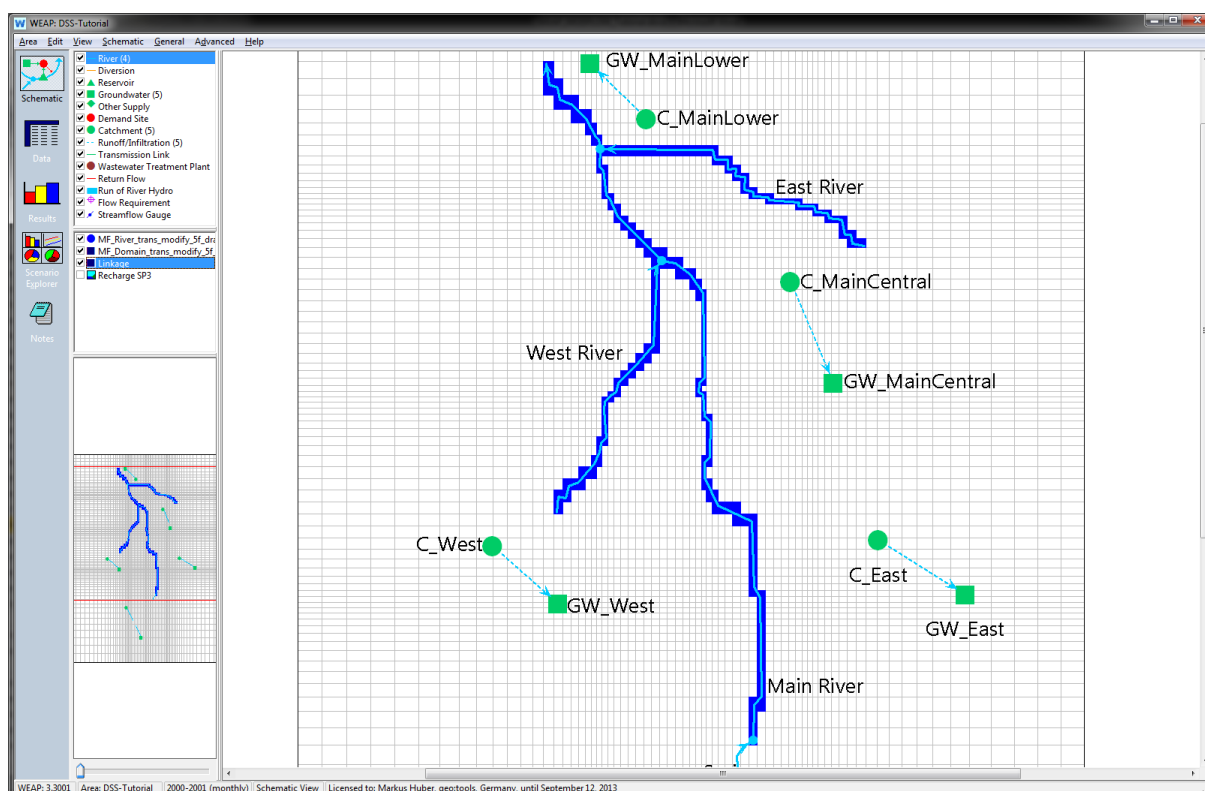
3.11 Lier WEAP et MODFLOW

Après avoir entré les données nécessaires à la fois dans le fichier de liaison et dans WEAP, vous êtes maintenant prêt à lier les deux modèles. Cela se fait par:

- Chargement du fichier « Shapefile » de liaison dans WEAP
- Mettre en place la liaison dans WEAP

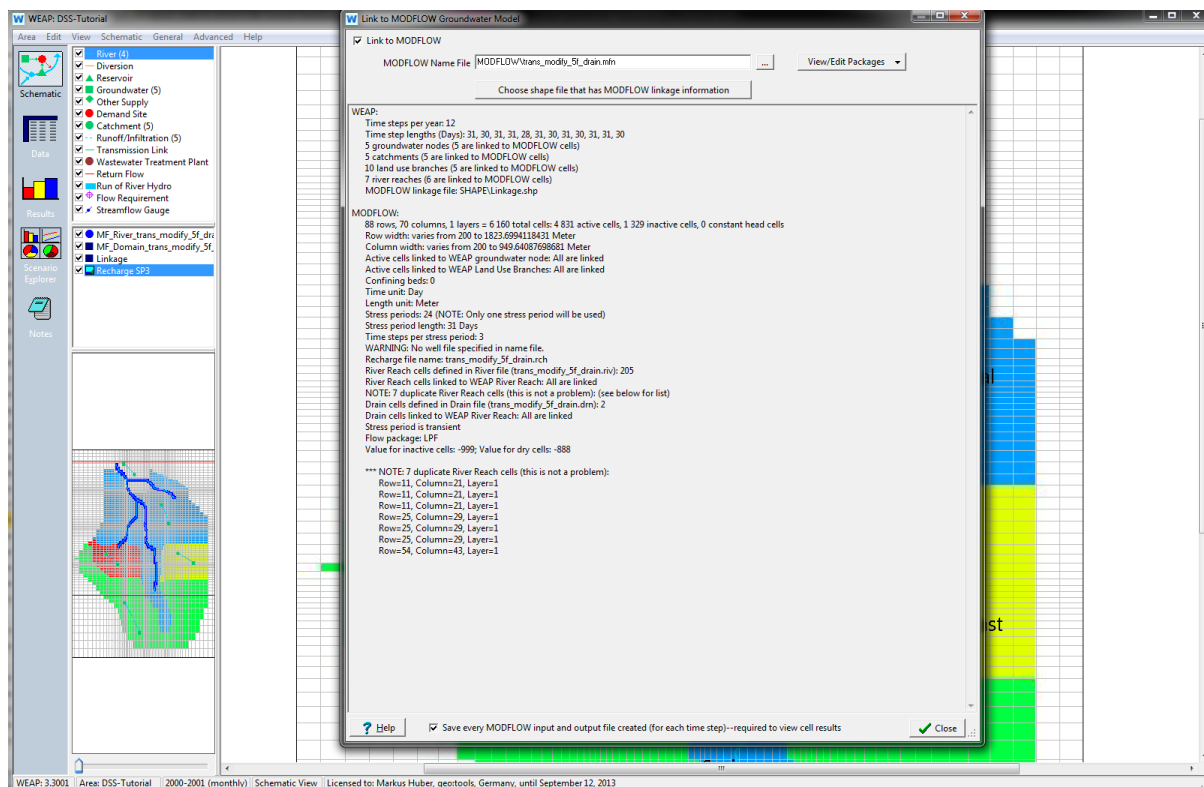
Chargez le fichier « Shapefile » de lien dans le schéma WEAP:

Add Vector Layer → *select the linkage file (linkage.shp)*



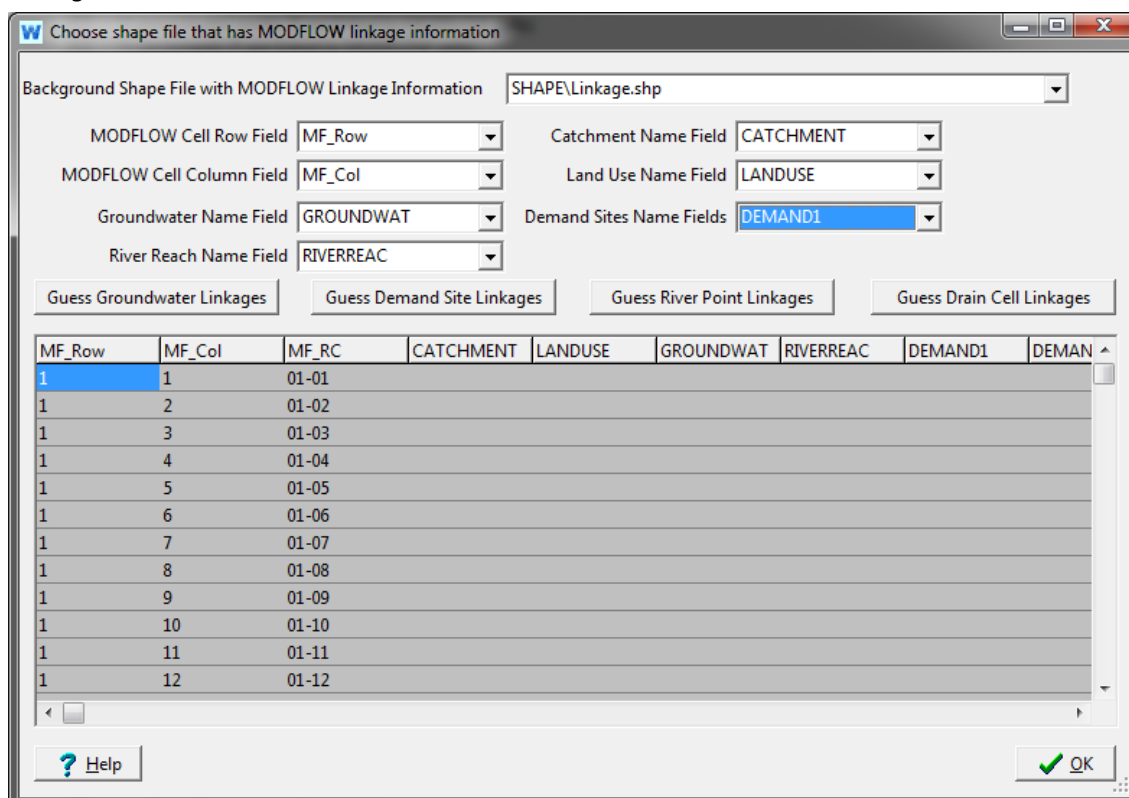
Dans le menu principal sélectionnez:

Advanced → *MODFLOW Link* → *MODFLOW Name File* → *MODFLOW/trans_modify_5f_drain.mfn*



Choisissez votre fichier « Shapefile » de liaison et assignez les champs d'attributs respectifs de ligne et colonne, eaux souterraines, tronçons de rivière et bassins versant (ce qui devrait être correct par défaut).

Si vous n'avez pas encore attribué les tronçons (parce que vous avez opté pour la méthode 2 dans le chapitre 3.8), vous devez maintenant cliquer sur *Guess River Point Linkages* and *Guess Drain Cell Linkages*.



Passez à la vue de résultats et regardez les sorties de résultat comme les niveaux piézométriques (*Supply and Resources* → *Groundwater* → *MODFLOW* → *Cell Head*) etc.

4 Hydrologie dans WEAP Modèles Liés – Pluie-Débit

Dans l'exercice précédent, vous avez entré les valeurs de la recharge directement dans WEAP comme « Natural Recharge » et délimité les bassins versants en basant sur les zones de recharges prédéfinis dans MODFLOW.

Dans le présent exercice, les noms des bassins restent les mêmes mais reliés à des régions spatiales différentes (des vrais bassins versants d'eau de surface). Les surfaces des bassins seront plutôt repartis selon l'occupation du sol pour refléter les différents besoins d'eau.

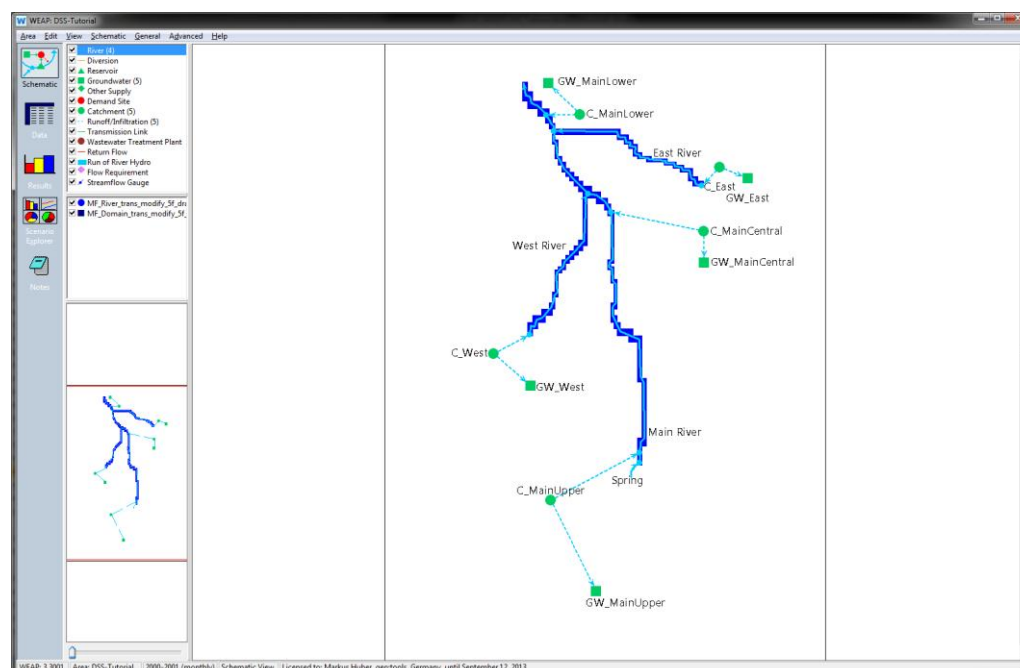
En plus, les ruissellements de surface sont assignés aux nœuds des bassins (du bassin à la rivière).

En ce chapitre, WEAP va calculer la recharge de l'eau souterraine en utilisant un de ses modèles internes appelé *Rainfall Runoff (simplified coefficient method)*.

4.1 Ajouter des liens de ruissellements au schéma

Afin d'assurer que WEAP puisse calculer le ruissellement, vous avez besoin d'ajouter des liens de ruissellement à partir des bassins aux rivières dans le schéma de WEAP. Glissez et déposez un lien de ruissellement pour chaque nœud des bassins à la rivière appropriée.

Bassin	Ruissellement lié à	Tête d'eau (yes/no)
C_MainUpper	Main River	No
C_West	West River	Yes
C_East	East River	Yes
C_Central	Main River	No
C_Main Lower	Main River	No



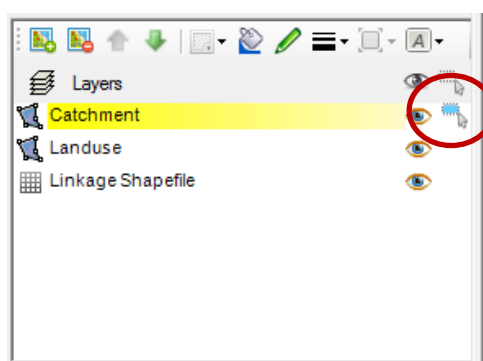
4.2 Attribuer les bassins et les classes d'occupation du sol dans le fichier de liaison

1. Ajoutez des sous-branches pour chaque bassin.

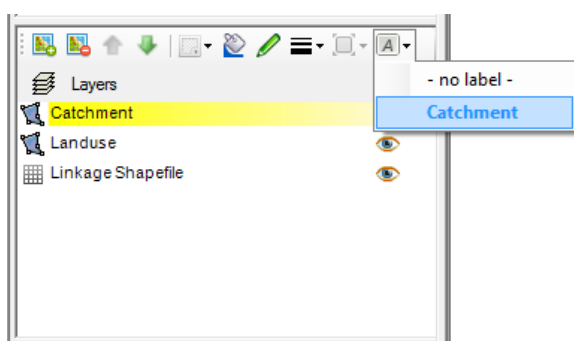
En vue de données: clique-droite sur *Catchment* → *Add* → *type the name of the sub branch* comme spécifié dans le tableau ci-dessous:

Bassin	Utilisation de sol
C_East	unirrigated
C_East	urban
C_MainCentral	unirrigated
C_MainLower	unirrigated
C_MainLower	urban
C_MainUpper	forest
C_MainUpper	irrigated
C_MainUpper	pasture
C_MainUpper	shrub
C_West	forest
C_West	pasture
C_West	unirrigated

2. Passez en LinkKitchen et chargez les deux fichiers *Catchment.shp* et *Landuse.shp*.

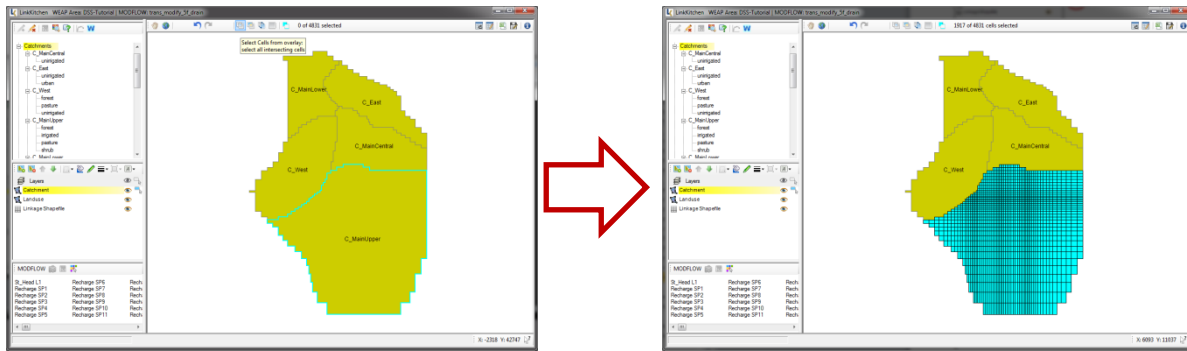


3. Faites selectable la couche *Catchment*



4. Changez l'attribut de la couche « *Catchment* » à "*Catchment*"

5. Cliquez droit dans *C_MainUpper* et puis cliquez sur *Select Cells from Overlay*



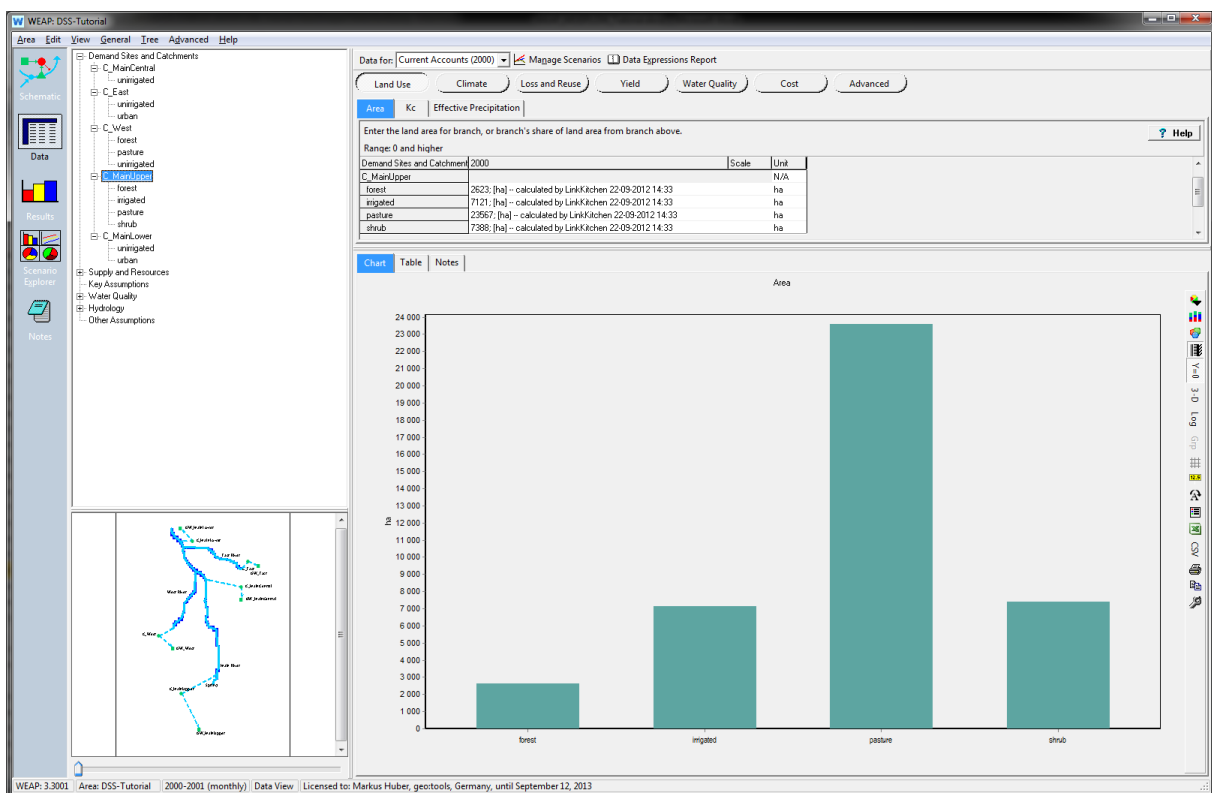
6. Surlignez *C_MainUpper* dans la vue de contrôle et cliquez *Add Attribute to selected Cells*.

7. Surlignez *GW_MainUpper* dans la vue de contrôle et cliquez *Add Attribute to selected Cells*.

Répétez les étapes 5-7 pour les autres bassins et nœuds des eaux souterraines.

8. Faites la couche "Landuse" selectable et attribuez les classes d'occupation du sol dans le fichier de liaison. La procédure ressemble à ceci dans les étapes 5-7.

9. Envoyez les données de la zone dans WEAP.

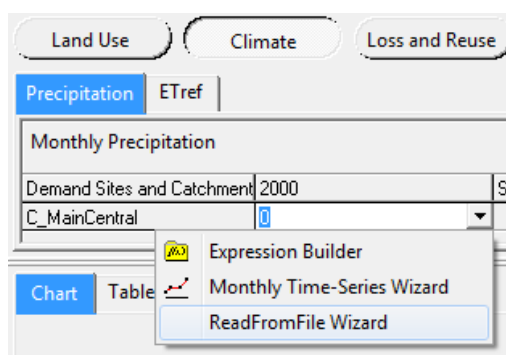


4.3 Entrer les données dans WEAP

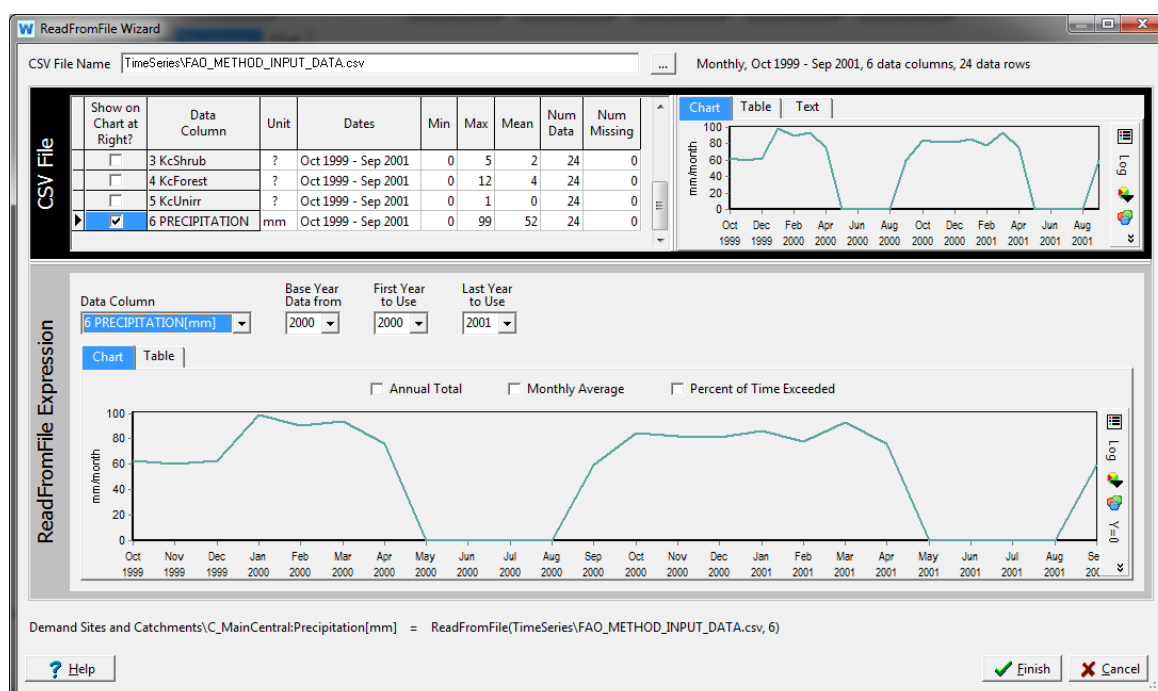
Des entrées additionnelles au niveau du bassin sont la précipitation et l'évapotranspiration de référence (ETref). Les coefficients de récolte (Kc) sont entrés au niveau des classes de l'occupation du sol. Ces entrées sont lues dans WEAP par la fonction « ReadFromFile ». Le nom du fichier duquel les données vont être lues est « INPUT_DATA.csv ». Copiez ce fichier dans le sous répertoire « TimeSeries » du répertoire « WEAP area ».

4.3.1 Entrer la précipitation

1. Dans la vue de données, choisissez *C_MainCentral* and activez *Climate* → *Precipitation*.
2. Cliquez sur la petite flèche à droite du casier d'entrée des données et choisissez *ReadFromFile Wizard*.



3. Ouvrez le fichier `\TimeSeries\INPUT_DATA.csv`
4. Dans le panneau au-dessous, choisissez *Precipitation* dans « data column » et cliquez sur « *Finish* ».



5. Répétez les étapes 2-4 pour les autres bassins.

4.3.2 Entrer ETRef

ET_{Ref} est entré de la même façon que la précipitation, mais avec la colonne de données [ET].

4.3.3 Enter Kc

Allez sur *Landuse – Kc* et faite entrer les valeurs de Kc pour chaque classe d'occupation du sol de la même façon que la précipitation et ET_{Ref}.

Les données pour les classes d'occupation du sol *Irrigated* et *unirrigated* viennent de la même colonne (unirrigated).

(Pour plus de détails sur le modèle de ruissellement *Rainfall Runoff (simplified coefficient method)*, voir l'aide dans WEAP et la publication n° 56 de la FAO sur irrigation et drainage intitulé « Crop Evapotranspiration »).

4.3.4 Entrer les fractions de ruissellement et d'infiltration

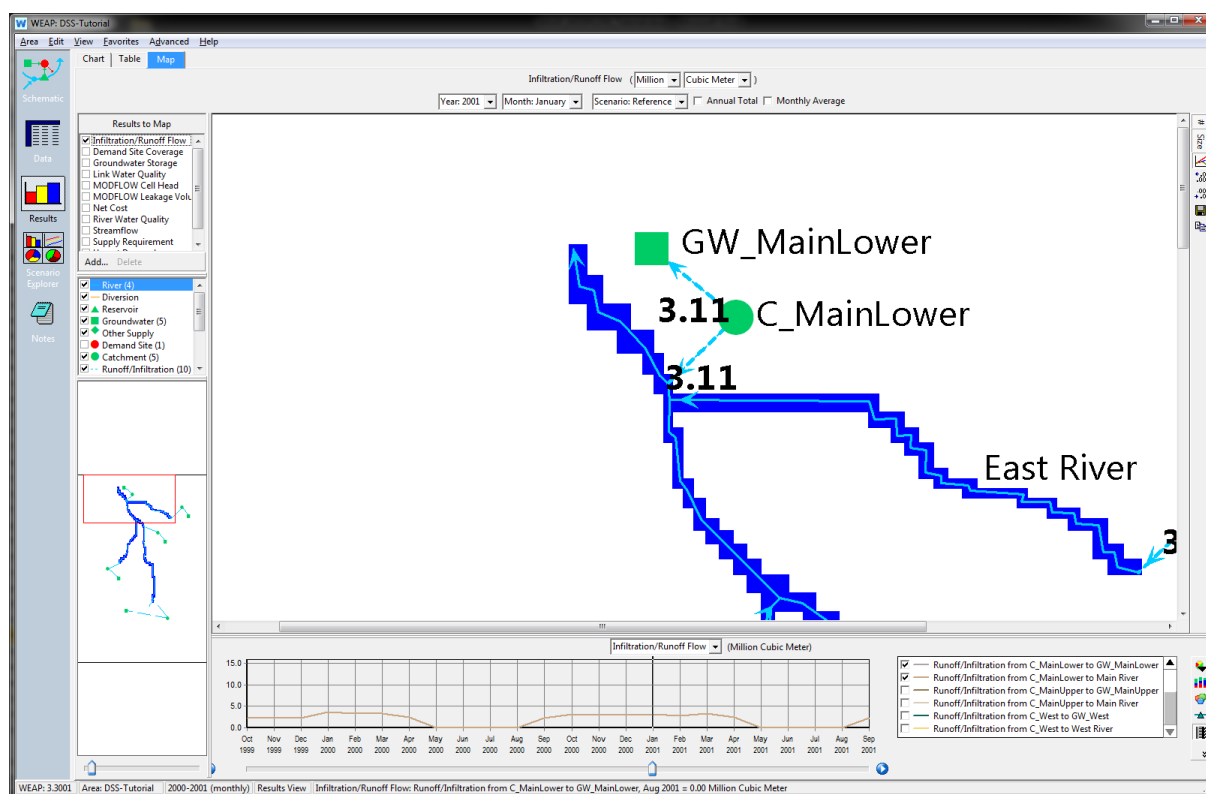
Le volume total de ruissellement peut être fractionné entre ruissellement de surface et recharge des eaux souterraines:

Supply and Resources → *Runoff and Infiltration* → *from catchment (C_...)* → *to ...* → *Runoff Fraction*

Entrez une valeur de 50% pour chaque lien.

4.3.5 Exécuter le modèle et parcourir les résultats

Le résultat ci-dessous montre la recharge calculée et le flux de ruissellement à partir du bassin *C_MainLower*.



5 Tâches Courantes

La partie suivante de ce tutoriel va vous donner quelques solutions pour faire face aux défis courants de modélisation. Elle n'a pas la prétention d'être complète et ne prétend pas à montrer une solution unique pour chaque problème posé. Mais vous pouvez utiliser certaines des approches présentées comme point de départ pour votre propre travail de modélisation.

Les descriptions ci-après sont réduites aux implémentations de base et de paramétrage. Si vous souhaitez visualiser les impacts de chaque tâche sur le système, vous devez appliquer les modifications sur les scénarios et comparer les résultats avec le scénario de référence.

5.1 Abstraction pour l'irrigation

Il y a plusieurs façons d'introduire l'abstraction pour l'irrigation. Les deux méthodes les plus utilisées sont:

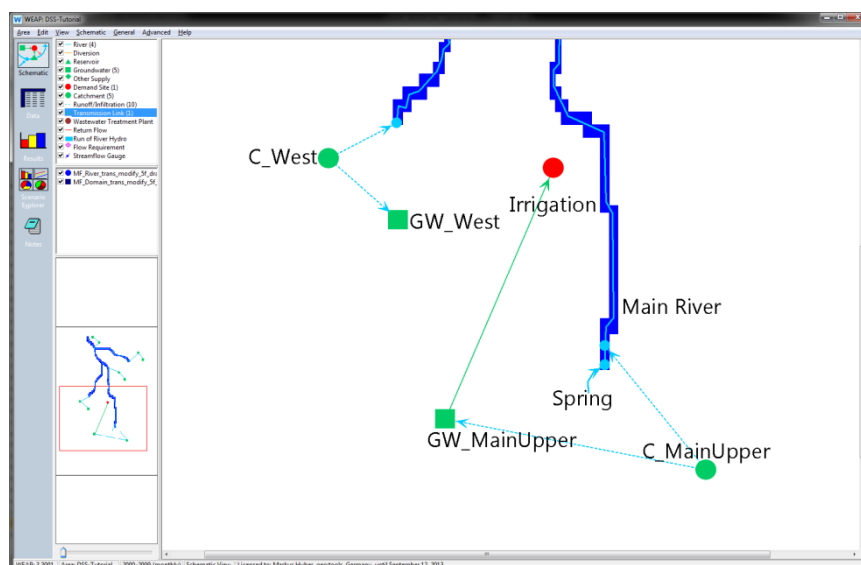
1. Définir un site de demande et entrer directement l'eau prélevée
2. Laisser WEAP calculer la demande d'irrigation en basant sur les paramètres du climat et des cultures

Dans le premier cas, il n'est pas nécessaire de se soucier du climat ou des types de cultures cultivées. Cette méthode est facile à implémenter mais pas flexible quand il s'agit de calculer des scénarios. Le second cas demande plus de données à entrer, mais offre une performance meilleure pour la planification pour le futur.

Les chapitres suivants montrent les deux approches.

5.1.1 Ajouter le prélèvement pour l'irrigation par site de demande

1. Glissez et déposez un nouveau site de demande dans la Vue de schéma et nommez-le «Irrigation».
2. Glissez et déposez une liaison type « *transmission link* » à partir de l'eau souterraine *GW_MainUpper* au nouveau site de demande «Irrigation».



3. Entrez le prélèvement d'eau pour l'irrigation dans:

Data → *Demand sites and catchments* → *irrigation* → *water use* → *Annual water use*

La demande d'irrigation est de 30 millions de m³ par an. Comme l'eau n'est nécessaire que pendant les mois de mai et juin, l'irrigation annuelle est fractionnée avec le pourcentage (40%) en mai et (60%) en juin. Ceci est entré au

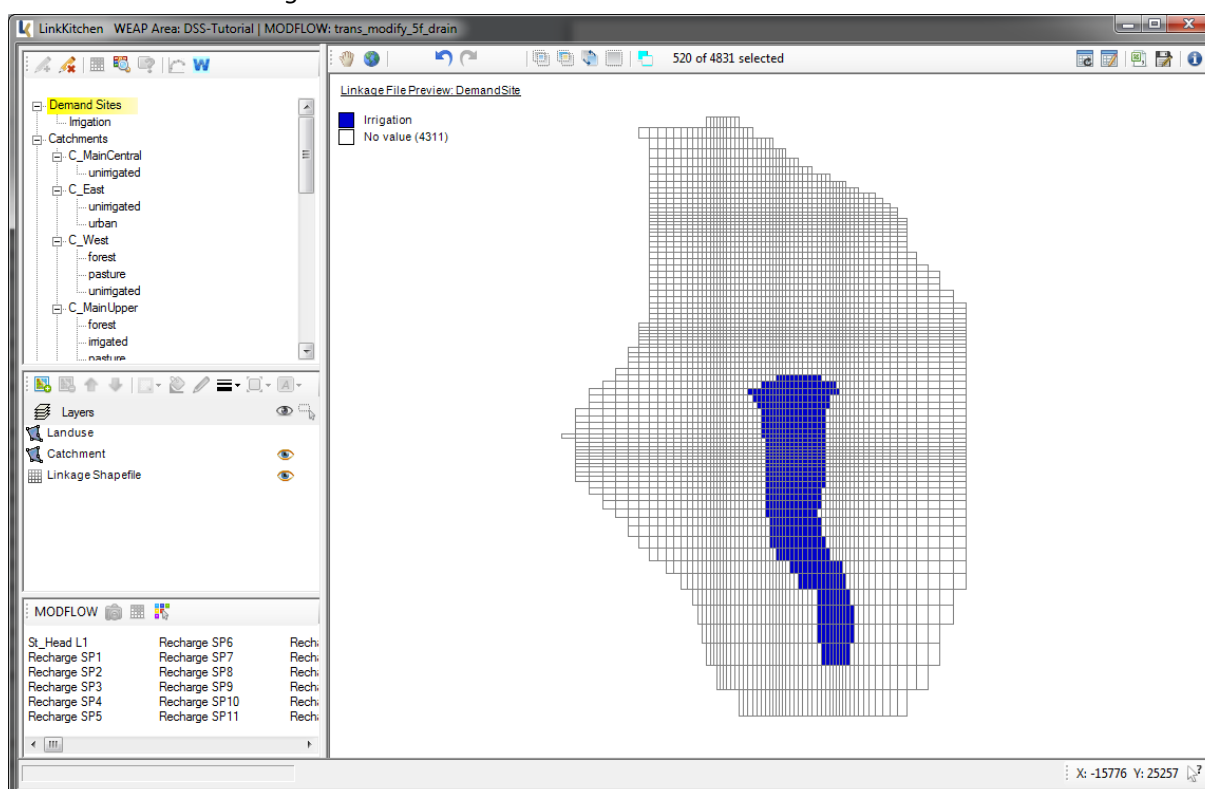
Data → Demand sites and catchments → irrigation → water use → Monthly Variation

En utilisant le *Monthly Time Series Wizard*.

4. Comme WEAP a besoin de reconnaître les éléments à partir desquels l'eau est prélevée, vous devez mettre à jour le fichier de liaison avec cette information. Il est supposé que l'eau est prélevée des puits situés partout dans la zone irriguée. Passez en LinkKitchen et surlignez la classe d'occupation du sol *C_MainUpper/Irrigated* dans la vue de contrôle.

5. Cliquez sur le bouton *Select Attributed Cells*.

6. Surlignez le site de demande *irrigation* et cliquez sur *Add Attribute to Linkage File*. Maintenant chaque élément se trouvant à l'intérieur de la classe d'occupation du sol « Irrigated » fourni de l'eau au site de demande *Irrigation*.



7. Sauvegardez le fichier de liaison sur le disque et retournez à WEAP.

8. Rechargez le fichier de liaison si nécessaire et exécutez WEAP. Parcourir les résultats.

5.1.2 Ajouter le prélèvement pour l'irrigation aux classes d'occupation du sol

La modélisation de la demande pour l'irrigation en utilisant un des modèles internes de WEAP nécessite d'un lien à partir des eaux souterraines au bassin versant. D'autres spécifications, comme les éléments à partir desquels l'eau est prélevée et sur lesquels est appliquée, sont définies dans le fichier de liaison.

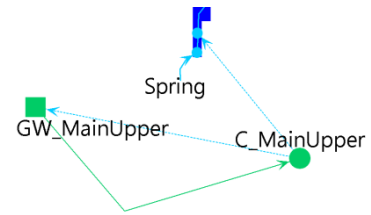
La demande en eau est contrôlée par le coefficient de récolte K_c et par les paramètres climatiques précipitation et ET. WEAP calculera la demande en eau si l'évapotranspiration des plantes est plus élevée que les précipitations.

1. Glissez et déposez un lien de type « transmission link » de GW_MainUpper à C_MainUpper

2. Mettez la priorité de la demande à 1

3. Mettez la classe irrigated de l'occupation du sol à irrigated:

Demand Sites and Catchments → C_MainUpper → Irrigation → Irrigated = 1



Data for: **Current Accounts (2000)** Manage Scenario

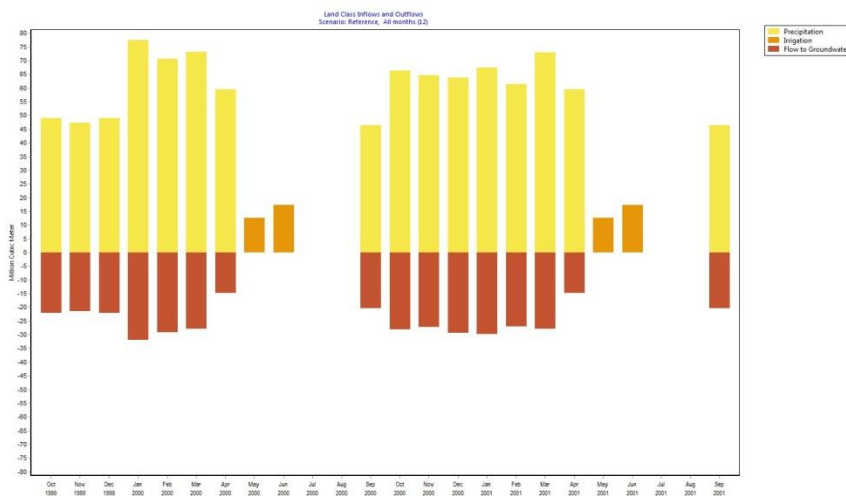
Land Use | Climate | Irrigation

Irrigated | Irrigation Fraction | Pump Layer

Enter 1 if area is irrigated; 0 otherwise. This value must be between 0 and 1
Range: 0 to 1

C_MainUpper	Irrigated
forest	0
irrigated	1
pasture	0
shrub	0

4. Exécutez le modèle et évaluez les résultats à la vue des résultats.



Exemple du bilan hydrique des classes d'occupation du sol:

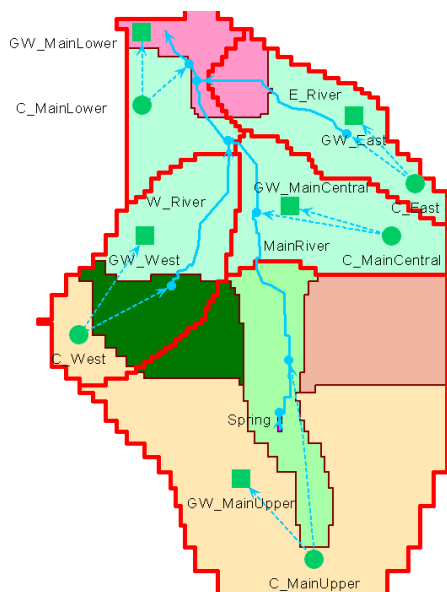
Vous pouvez voir que l'irrigation a lieu entre mai et juin quand la ET est élevée et la précipitation est faible. Bien que la précipitation reste faible en juillet et août, il n'est pas nécessaire d'irriguer car les cultures sont déjà récoltées.

5.2 Changements en occupation du sol

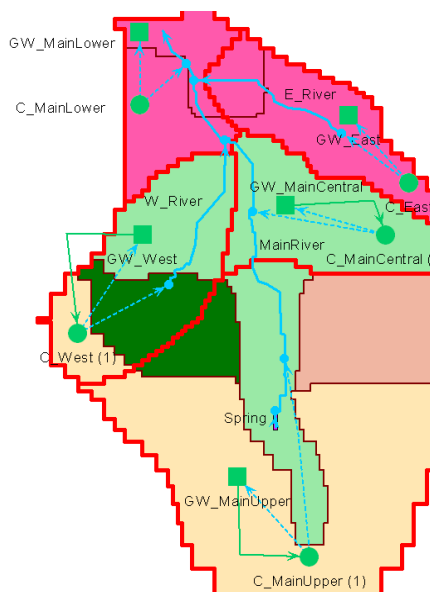
Le but de cet exercice est d'étudier l'impact des changements dans l'utilisation du sol sur la recharge des nappes phréatiques. Afin de surligner les changements, la durée totale de ce modèle est prolongée à 10 ans.

General → Years and time steps → last year of scenarios = 2009

Occupation du sol 2000



Occupation du sol 2010



5.2.1 Urbanisation

Scenario: Les zones urbaines se développent vers l'occupation totale des bassins versants *C_East* et *C_MainLower* jusqu'en 2010. L'infiltration disparaît et toute la précipitation écoule vers les rivières.

1. Laissez WEAP répéter les données dépendantes du temps pour chaque année (précipitations, ET, Kc):

The screenshot shows the 'ReadFromFile Wizard' dialog box. The 'CSV File Name' is 'TimeSeries\FAO_METHOD_INPUT_DATA.csv'. The 'Data Column' is '6 PRECIPITATION' with units in 'mm'. The 'Base Year Data from' is '2000', 'First Year to Use' is '2000', and 'Last Year to Use' is '2001'. The 'Cycle?' option is selected. The 'Chart' tab is active, showing a line graph of precipitation over time. The 'ReadFromFile Expression' field contains: 'Demand Sites and Catchments\C_MainLower\Precipitation[mm] = ReadFromFile(TimeSeries\FAO_METHOD_INPUT_DATA.csv, 6, Cycle)'. The 'Finish' button is highlighted.

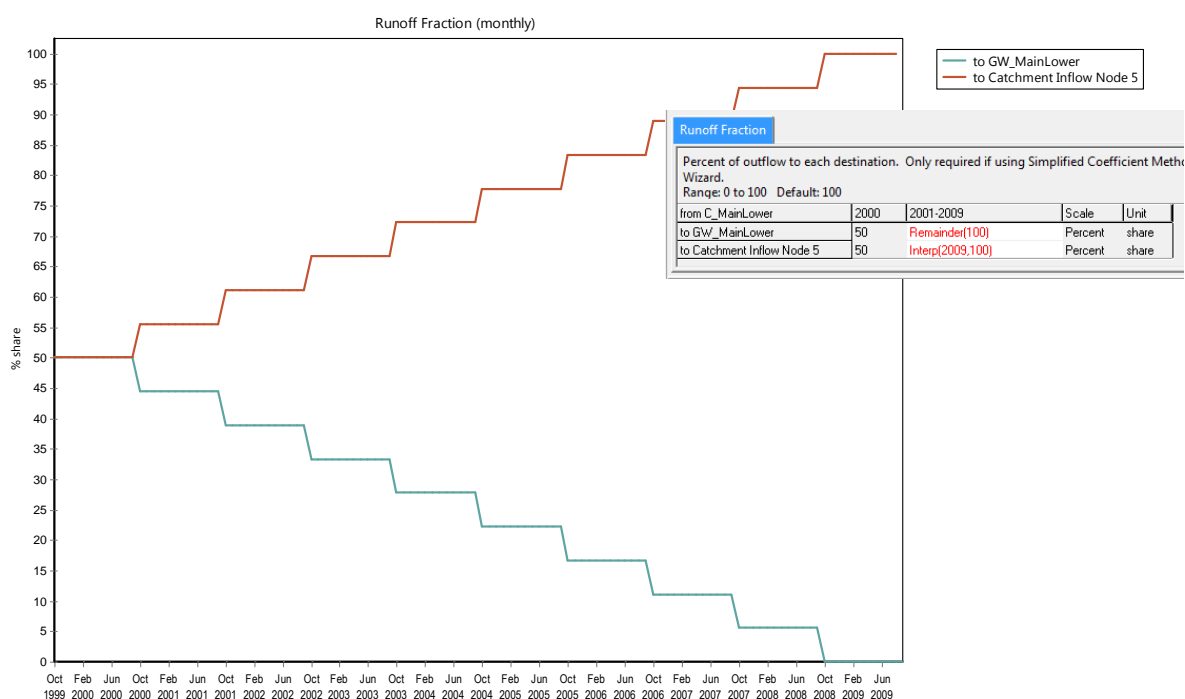
Choisissez l'option "cycle"

2. Augmentez la fraction du ruissellement de 50% en 2000 à 100% en 2009 et réduisez la fraction de la recharge des nappes en conséquence:

Supply and Resources → Runoff and Infiltration → from C_MainLower → Runoff Fraction

Supply and Resources → Runoff and Infiltration → from C_E ast → Runoff Fraction

Pour interpoler les fractions annuelles utilisez les fonctions *Interp(2009, 100)* et *Remainder(100)*.



5.2.2 Croissance de l'irrigation

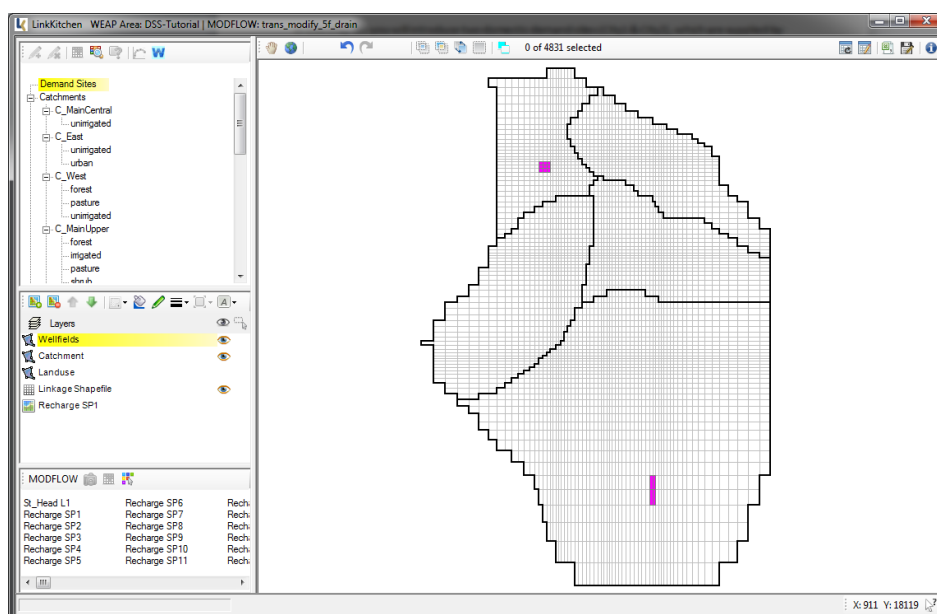
La classe d'occupation du sol *unirrigated* va être modifiée pour être irriguée à partir de l'année 2001.

1. Ajoutez un lien de type « transmission links » à partir de la nappe phréatique vers les bassins versants *C_MainUpper*, *C_MainCentral* et *C_West*.
2. Dans ces bassins, définissez les classes d'occupation du sol non irriguées et irriguées comme irriguées (1)
3. Mettez la fraction d'irrigation à 75% (= sur-irrigation)
4. Exécutez le modèle et parcourez les résultats

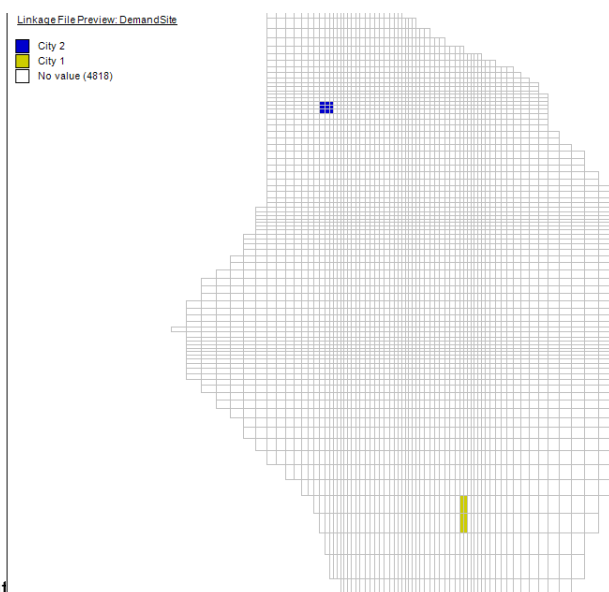
5.3 Approvisionnement de l'eau domestique à partir des forages

Dans ce chapitre, vous allez introduire deux sites de demande domestique (City1 & City2), qui sont approvisionnés par des forages locaux. Vous avez besoin d'entrer des données dans WEAP et le fichier de liaison pour que cela fonctionne.

1. Glissez et déposez deux sites de demande (City 1 et City 2) sur le Schéma.
2. Ajoutez un lien type « Transmission link » de *GW_MainUpper* à *City 1* et un autre de *GW_MainLower* à *City 2*.
3. Mettez *Annual Water Use Rate* pour les deux sites à 20 Million m³.
4. Mettez *Consumption* à 100%:
Demand Sites and Catchments → *Water Use* → *Consumption*
5. Passez en LinkKitchen et chargez la couche *Wellfields.shp* qui indique l'emplacement des deux forages.

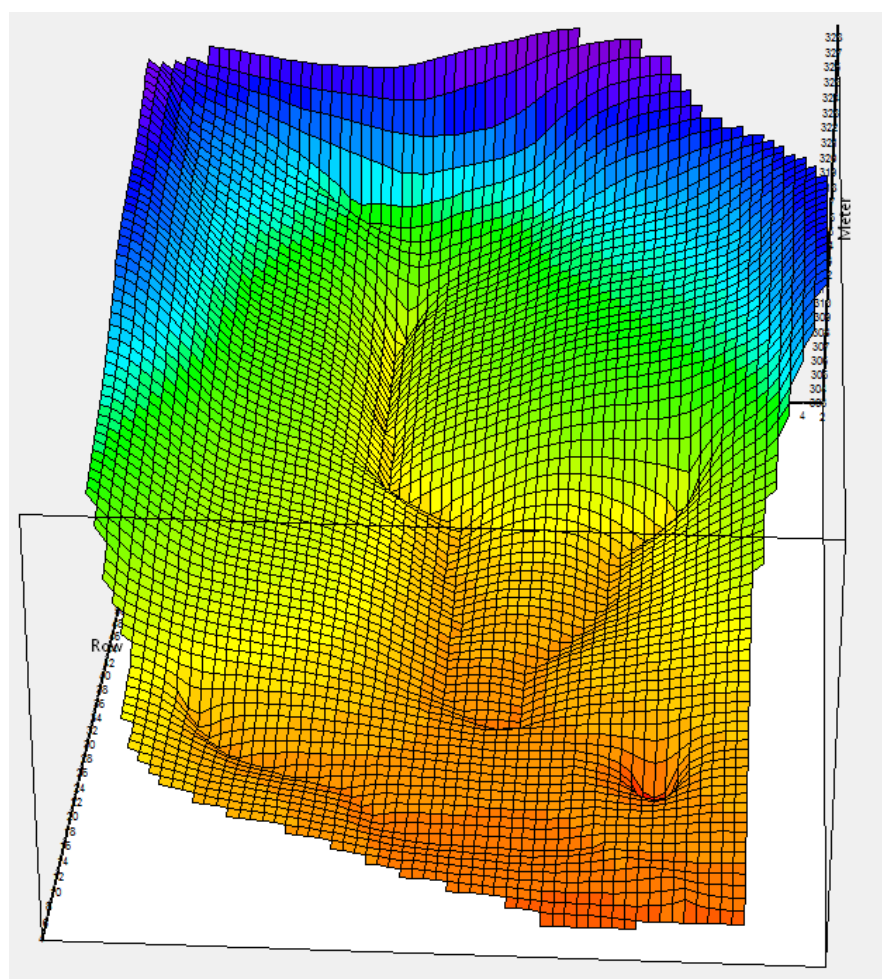
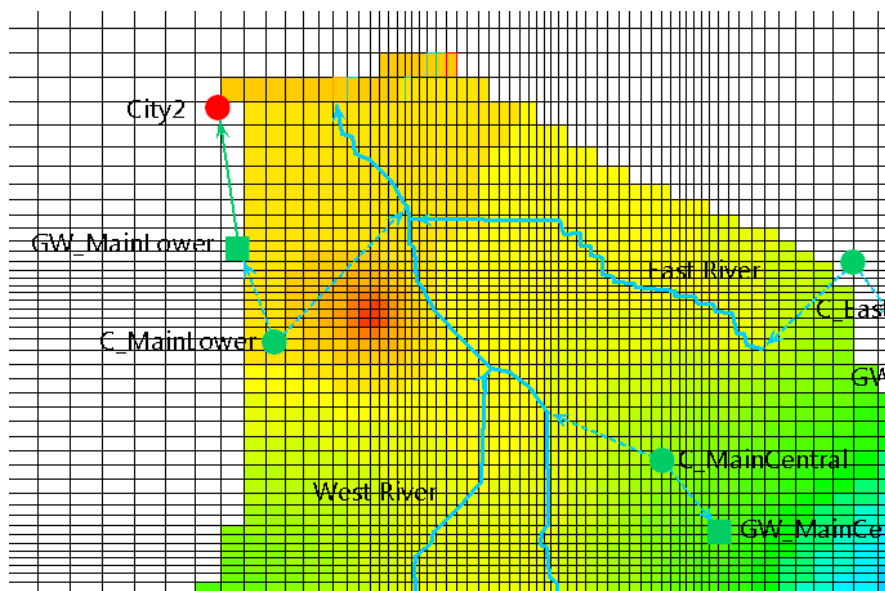


6. Sélectionnez tous les éléments du forage en haut et attribuez-les à *City 2*. Répétez l'étape avec le deuxième forage. L'aperçu devrait ressembler à:



7. Sauvegardez le fichier de liaison et rechargez-le dans WEAP, si necessaire.
8. Exécutez WEAP et visualisez le resultat du niveau piezometrique (Map-View)

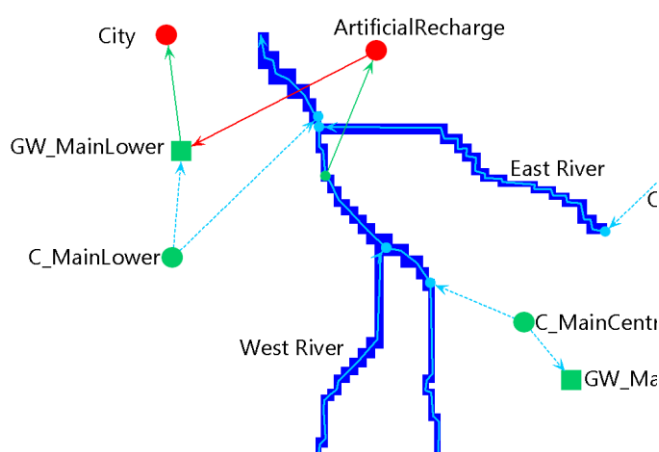
Le résultat montre un cône de dépression important autour les éléments que vous avez définis comme forages pour approvisionner le site de demande "City2".



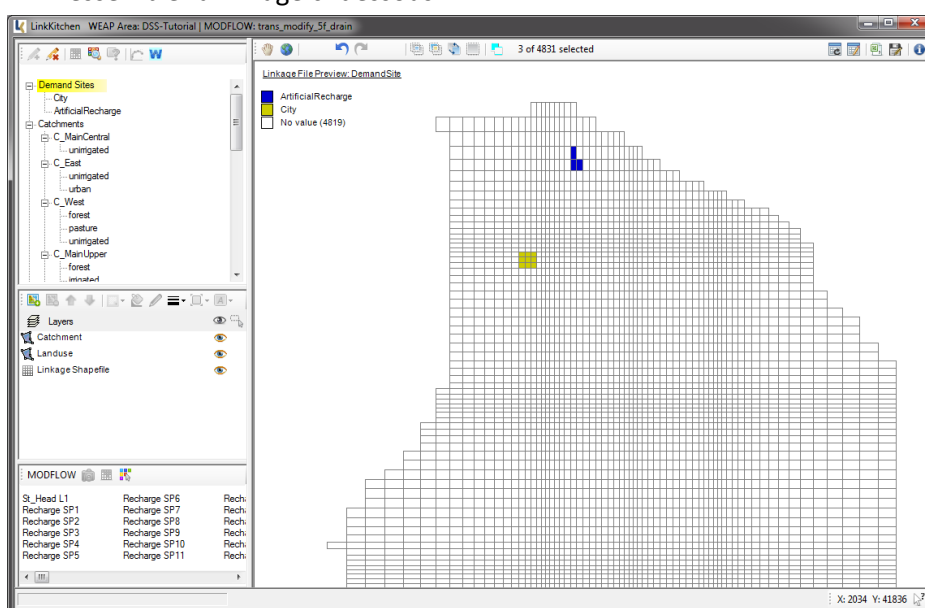
5.4 Recharge artificielle

La modélisation de la recharge artificielle (p.ex. puits d'injection) est similaire à la modélisation de l'abstraction. La seule différence est que l'eau n'est pas consommée par le site de demande mais elle est retournée à un nœud d'eau souterraine. L'emplacement de l'injection est défini dans le fichier de liaison par l'attribut de la demande.

1. Ajoutez un site de demande « Artificial Recharge » au schéma et Mettez *Annual Water Use Rate* à 20 million de m³ et *Consumption* à 0%
2. Ajoutez un lien type «Transmission link » de *Main River* au nouveau site de demande « Artificial Recharge » et un autre lien type « Return Flow » de ce même site vers l'eau souterraine *GW_MainLower*

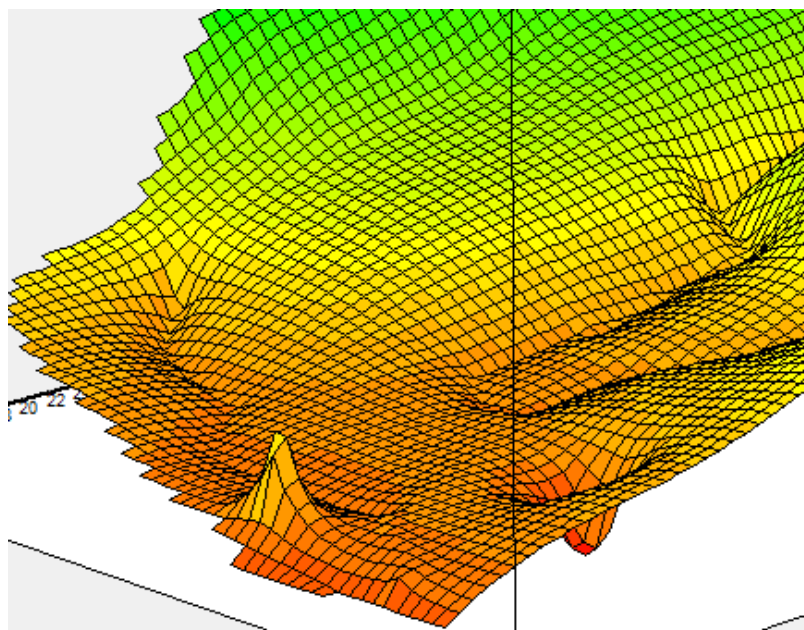
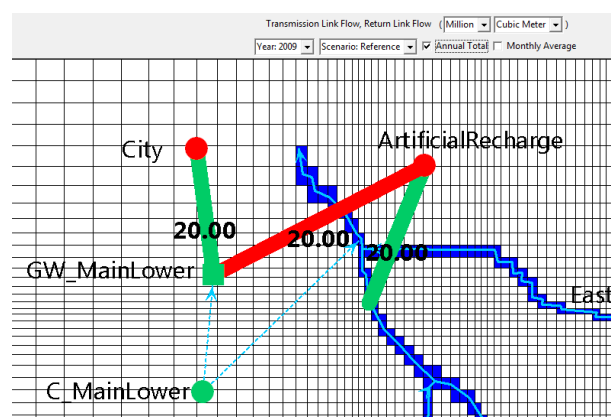
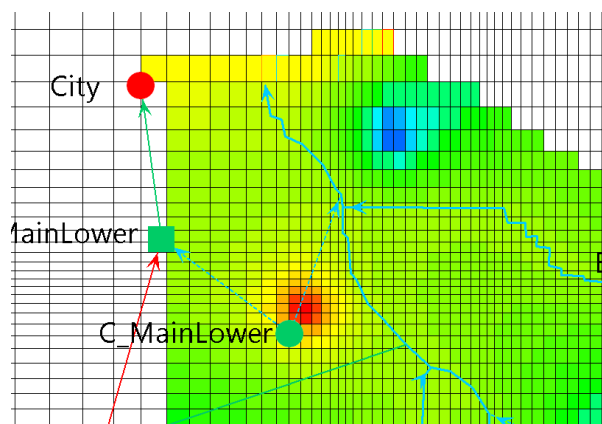


3. Passez en LinkKitchen et liez quelques éléments au site *ArtificialRecharge*. L'aperçu devrait ressembler à l'image ci-dessous:



4. Sauvegardez le fichier de liaison et retournez en WEAP.
5. Parcourez les résultats sur la vue de niveau piézométrique

L'injection d'eau a un effet similaire au prélèvement sur la nappe phréatique mais dans la direction opposée. Les effets de l'abstraction et la recharge artificielle sont visualisés avec Map at comme carte 3D (voir ci-dessous, images à gauche et en bas). L'image ci-dessous à droite montre les flux annuels calculés par WEAP.



5.5 Changement climatique

Les impacts possibles du changement climatique sur le ruissellement de surface, les niveaux piézométriques et les débits des sources (comme une approche simplifiée de ce sujet complexe) sont entraînées par des changements sur les paramètres de la précipitation et l'évapotranspiration.

Afin de visualiser les impacts du changement climatique, créez un nouveau scénario « Climate Change » et modifiez les paramètres suivants pour chaque bassin versant:

- $ET_{Ref} \rightarrow Growth(3\%)$
- $Precipitation \rightarrow Growth(-3\%)$

Exécutez WEAP et visualisez le résultat pour *groundwater storage*.

La comparaison des deux scénarios *climate change* et *reference* montre l'effet du changement climatique sur le stockage des eaux souterraines au fil du temps

