

SYNDICAT MIXTE DE GESTION
DE LA NAPPE DE LA CRAU



Rapport d'étude

*Aménagement et urbanisation en Crau :
Quelles incidences sur la ressource en
eau souterraine ?*



**CONSEIL
GENERAL**
BOUCHES-DU-RHÔNE



Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Novembre 2012

Participants

Auteur :	Pierre SERAPHIN
Superviseurs :	Charlotte ALCARZAR (<i>Directrice SYMCRAU</i>) Caroline BOESCH (<i>Technicienne SYMCRAU</i>)
Président du SYMCRAU :	Louis MICHEL
Groupe de travail :	Liliane FLEURY (<i>Elu du SYMCRAU</i>) Claudine TREZZY (<i>CG13 Direction Environnement</i>) Léonie CAMBREA (<i>Chambre d'Agriculture 13</i>) Laurianne MOREL (<i>Chambre d'Agriculture 13</i>) Louis ARLOT (<i>Union Boisgelin Craonne</i>) François ROBERI (<i>Agence de l'eau</i>) Didier TRONC (<i>Comité de Foin de Crau</i>) Fabienne GUYOT (<i>Contrat de Canal Crau Sud Alpilles</i>) Bernard ZANON (<i>DDTM 13 Arles</i>) Gérard BARTOLLI (<i>Elu du SYMCRAU</i>) Axel WOLFF (<i>Réserve Naturelle - Coussouls de Crau</i>) Rémi LECERF (<i>Chercheur INRA</i>) Benjamin GRENARD (<i>Arrosant de la Crau</i>)

Table des matières

I. Le SYMCRAU	1
1. Présentation du Syndicat	1
2. Les objectifs du SYMCRAU	1
II. Domaine d'étude	3
1. Géologie de la Crau	3
2. Contexte hydrogéologique	5
3. La culture du foin de Crau	7
4. Les prélèvements dans la nappe	8
III. Objectifs de l'étude	9
IV. Récolte de données	10
1. Données d'aménagement du territoire	10
2. ASTUCE & TIC – Révision des objectifs de l'étude	11
V. Calculs des impacts de l'aménagement	14
1. Superficies de prairies concernées	14
2. Critiques des résultats	16
3. Correspondance en volumes d'eau	17
4. Projet autoroutier d'Arles	19
5. Quelques remarques sur le drainage	20
6. Surconsommation AEP engendrée par les choix d'urbanismes	22
VI. Prospection modélisée	24
1. Modélisation ASTUCE & TIC	24
2. Mise en place de nouveau scénarios	25
3. Paramètres des scénarios	26
4. Résultats et interprétations	27

VII. Création de nouvelles prairies irriguées	30
1. Mise en place des critères de notation	30
2. Pondération des critères	32
3. Résultats	37
4. Limites de la méthode	40
5. Préconisations	42
6. Etude des autres moyens de compensation pour la nappe phréatique	43
VIII. Conclusion	45
IX. Bibliographie	46
X. Annexes.....	47

I. Le SYMCRAU

1. Présentation du Syndicat

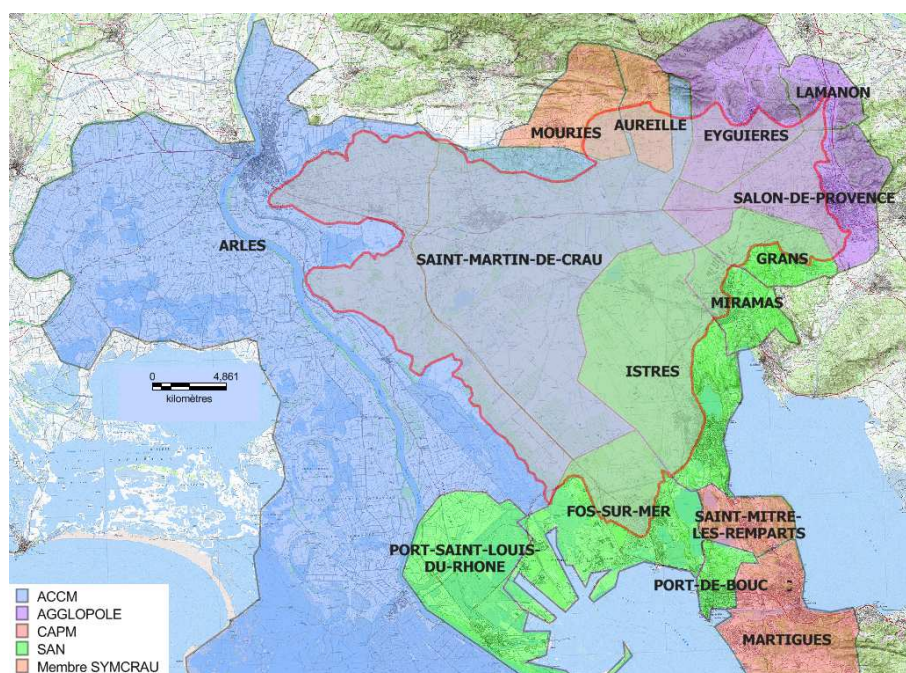
Le Syndicat Mixte de Gestion de la Nappe de la Crau (SYMCRAU) a pour vocation de mettre en œuvre une politique de gestion durable de la ressource en eau souterraine en Crau.

Il regroupe :

- des collectivités
- la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône,
- le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM),
- l'Union du Canal Commun Boisgelin-Craponne (représentant des canaux d'irrigation).

Enfin, le Comité du Foin de Crau, le Conservatoire d'espaces naturels (CEN) de Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Groupement Maritime et Industriel de Fos, les Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) Territoriale du Pays d'Arles et de Marseille Provence et la Fédération des Structures Hydrauliques des Bouches-du-Rhône sont également associés aux réflexions du Syndicat afin que la plus large concertation possible puisse précéder l'ensemble des décisions.

Le SYMCRAU est présidé depuis 2007 par M. Louis MICHEL qui est également Vice-président du SAN Ouest Provence délégué à l'aménagement et conseiller municipal de Fos sur Mer. La structure est dirigée par Mme Charlotte ALCAZAR, ingénieure hydrogéologue avec l'assistance de Mme Natalie SEGUI pour l'aspect administratif et Mme Caroline BOESCH en tant que technicienne hydrogéologue.



Carte des membres du SYMCRAU

Le budget du SYMCRAU est alimenté grâce à la contribution de ces membres mais également par des subventions de l'Europe, du conseil général, du conseil régional et de l'agence de l'eau.

Les objectifs du SYMCRAU

Le syndicat a été créé le 13 février 2006 pour une durée expérimentale de trois ans. Celle-ci a été reconduite jusqu'en août 2011. Puis il a été pérennisé en qualité de Syndicat de gestion depuis le 13 août 2011.

Aux termes de ses statuts, les missions principales du syndicat sont :

- Le recensement et la réalisation de toutes les études jugées nécessaires pour avoir une connaissance approfondie de la nappe,
- Veiller à ce que les aménagements, les études et les travaux ayant un impact direct sur les systèmes hydrauliques superficiels, la nappe de la Crau et leur environnement, respectent les objectifs généraux de préservation des milieux et de sécurité,
- Suivre la mise en place d'une gestion rationnelle des prélèvements et de la ressource

Actuellement, l'activité du syndicat est notamment axée sur :

- La mise en place d'un observatoire de la nappe de la Crau (centralisation et valorisation des données relatives à la nappe et au territoire, et mise en place d'un réseau de suivi quantitatif et qualitatif de la nappe de la Crau),
- L'animation d'une réflexion participative avec les différentes catégories d'acteurs du territoire pour définir une gestion durable de la ressource : Le contrat de nappe,
- Le développement d'un outil de modélisation de l'aquifère

II. Domaine d'étude

Le territoire de la Crau s'étend sous forme d'un triangle allant de la ville d'Arles, à l'Ouest, jusqu'à Salon-de-Provence à l'Est, et Fos-sur-Mer au Sud. Historiquement recouvert de pelouse pastorale aride (nommée coussoul), cette végétation unique, aujourd'hui fragmentée, constitue la Crau sèche. C'est le dernier habitat de type steppique d'Europe occidentale.

Adam de Craponne construisit entre 1557 et 1558 le canal qui porte son nom, créant un réseau hydraulique superficiel inexistant depuis le détournement de la Durance lors de l'effondrement du seuil d'Orgon à la fin du Würm. La partie nord de la Crau fut rapidement irriguée et mise en culture, formant la Crau humide qui donne un foin réputé, premier fourrage à avoir obtenu une AOC : le foin de Crau. L'élevage ovin est également une activité liée et rependue en Crau puisque le pâturage et la transhumance estivale respectent les cycles naturels des coussouls et prairies.

Comme partout en France, la deuxième moitié du XXe siècle annonce un changement brutal de l'occupation des sols : de nombreuses cultures intensives (vergers et maraîchage) apparaissent, réduisant la surface de coussoul. La zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (Grand port maritime de Marseille), fondé en 1968, a également consommé des espaces naturels en créant de l'activité, directement (entrepôts logistique, usines), et indirectement (voix d'accès, logements, commerces). En 2006, celui-ci devient le premier port français, le premier port de Méditerranée et le quatrième port européen en trafic total de marchandises (100,3 millions de tonnes). S'ajoute à cela la Base Aérienne 125 d'Istres, une zone militaire souvent qualifiée de « hors norme » : une piste de 5 000 mètres (la plus longue d'Europe et la seule à pouvoir recevoir les navettes spatiales Américaines) ; 5 000 personnes (militaires et civils) ; Près de 500 bâtiments ; 2 400 hectares de superficie.

La valeur écologique et patrimoniale du coussoul a été prise en compte à partir des années 1970, et plusieurs outils de protection ont pu être mis en place. L'habitat est aujourd'hui intégré au réseau Natura 2000 et la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau a été créée en 2001.

1. Géologie de la Crau

Une série de régressions et transgressions, entrecoupées par des phases orogéniques jusqu'au *Pliocène*, a conduit au dépôt d'argiles et marnes sableuses (*Pliocène-Miocène supérieur*) au Nord, et de molasses argileuses ou gréseuses (*Miocène inférieur*) au Sud pour constituer le substratum de la nappe de Crau.

Plusieurs glaciations jusqu'au *Würm* (-70 000 Ans) ont créé les paléo-chenaux de la Durance qui traverse la Crau, depuis le massif des Alpes, en déposant des cailloutis glacières (épaisseur comprise entre 0 et 50 mètres), jusqu'à la mer. A la fin du *Würm* (-12 000 Ans), un mouvement tectonique détruit le seuil d'Orgon et ouvre le passage actuel de la Durance (vers Avignon, puis le Rhône). Les études des années 1970 du BRGM ont prouvé la présence d'une ligne de partage des eaux au niveau de Lamanon qui montre que la Durance n'alimenterait plus naturellement la nappe de la Crau.



Figure 1 : Carte géologique de la Crau (©Infoterre – Pas de légendes disponibles)

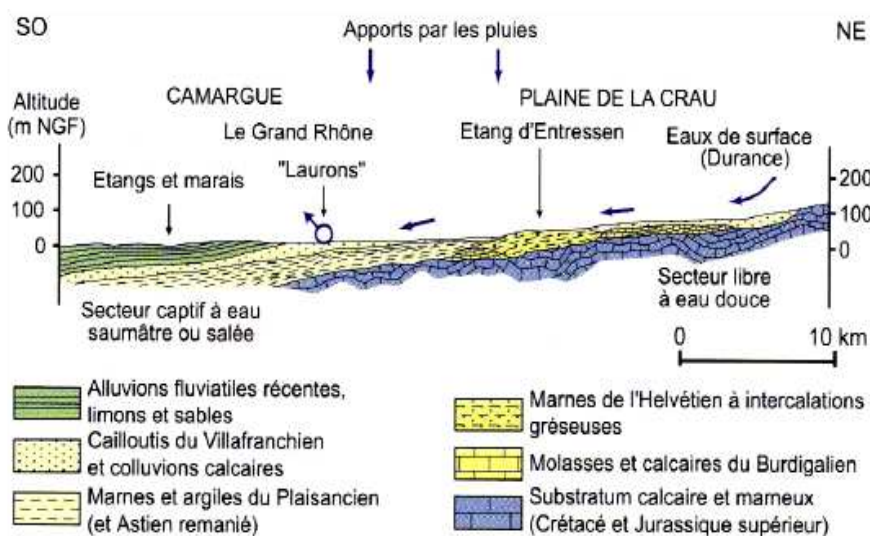


Figure 2 : Coupe géologique simplifiée de la Crau (©BRGM Version détaillée en annexe)

Le substratum de l'aquifère étudié est constitué de marnes et argiles du pliocène. Nous pouvons observer sur la coupe (*figure 2*) que la résurgence de la nappe au niveau de l'étang d'Entressen est due à la présence d'une zone imperméable constituée de marnes gréseuses et de molasses comme tous les étangs présents à l'intérieur du domaine d'étude.

2. Contexte hydrogéologique

L'aquifère de la Crau, qui s'étend sur une superficie de 520 km², est la principale ressource en eau pour la région de la Crau (alimentation de 94,5 % des habitants du territoire). Sa morphologie, ainsi que son mode de réalimentation en fait un patrimoine unique. Celle-ci s'étend sous forme d'un delta délimité à l'ouest par le Rhône, au nord de la Chaîne des Alpilles, au sud-est et au sud par l'étang de Berre et par la mer Méditerranée.

Les écoulements suivent une direction générale Nord-est/Sud-ouest jusqu'à la limite d'émergence constituée de marais. La profondeur de la surface de l'eau par rapport au sol varie entre 25 mètres dans le secteur amont et 0.3 mètre dans le secteur aval avec un battement annuel de 1 à 4 mètres.

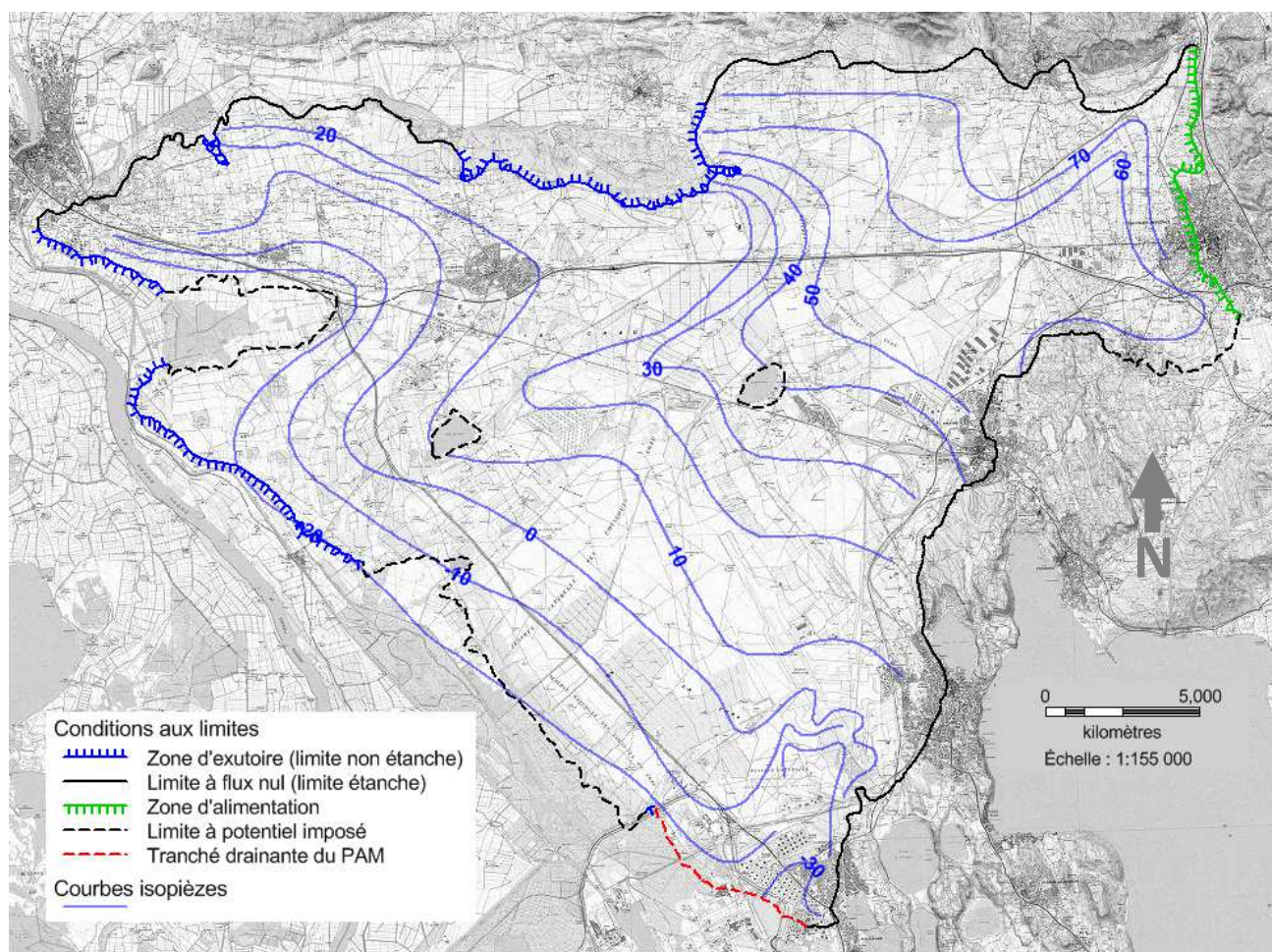


Figure 3 : Carte du contexte hydrogéologique de la Crau

Depuis plusieurs siècles, cet aquifère est principalement rechargé par l'irrigation gravitaire des prairies de foin via des canaux parcourant toute la plaine de la Crau. Ces canaux sont historiquement alimentés à partir de l'eau de la Durance, mais depuis l'aménagement de la chaîne d'hydroélectrique, celle-ci transite via le canal EDF, dont l'exutoire se situe dans l'étang de Berre. Le barrage de Serre-Ponçon, ouvrage majeur de cet aménagement, contient notamment une réserve d'eau agricole de plus de 200 millions de mètres cubes allouée par an pour les cultures de moyenne et basse Durance.

La nappe de la Crau est donc très particulière car elle est donc rechargée de 60 à 80% par l'eau de la Durance, acheminée via les canaux d'irrigation qui parcourent la Crau pour l'irrigation des prairies de foin. Par conséquent, contrairement au fonctionnement classique des nappes méditerranéennes, elle présente des niveaux de hautes eaux en période estivale.

Conditions aux limites	Secteur géographique	Commentaires
Limite à flux nul	Parties centrale et méridionale de la bordure Est de la plaine	Frontières imperméables ; contact avec les formations miocènes
	Bordure Nord (à l'exception des marais des Baux et des sources de Mouriès)	Frontière imperméable
Limite à potentiel imposé	Zones de marais à l'Ouest et au Sud Secteur Est, au niveau de la Touloubre (de pente négligeable)	Très faible pente de la Touloubre
Zone d'alimentation (limite non étanche)	Secteur NE de la plaine de Crau	Apport depuis les cailloutis et colluvions du massif de Vernègues
Zone d'exutoire (limite non étanche)	Bordure NO-SE, entre Arles et Fos	Exutoires principaux de la nappe. Ligne d'émergences constituées de marais et de sources plus ou moins individualisées (laurons) à niveau assez constant (0.5 à 1.5 m NGF). Zone drainée par le canal du Vigueirat
	Marais des Baux et sources de Mouriès, en limite Nord de la plaine	Exutoires partiels de la nappe
	Bordure orientale avec les sources Marie-Rose et Canebière et le débit permanent de Fanfarigoule	Débit permanent de Fanfarigoule correspondant au débit de fuite

Tableau 1 : Récapitulatif des conditions aux limites du domaine de la Crau

Cette nappe peu profonde est dite « à surface libre » bien qu'elle soit parfois mise en charge localement sous des niveaux de poudingues inter-stratifiés ainsi que dans la partie Sud-ouest, au niveau du plongement sous les limons de Camargue. Elle est donc vulnérable aux pollutions provenant des diverses activités anthropiques existantes sur le territoire. Cependant il faut noter que celle-ci a une grande capacité de dilution. La proximité de la mer implique également l'existence d'une problématique majeure liée aux nappes côtière, à savoir le risque d'intrusion d'eaux de mer vers l'intérieur des terres : les biseaux salés.

Cette vulnérabilité et son importance stratégique impliquent la nécessité de définir rapidement des outils de gestion de cette nappe.

Les nombreuses études qui existent sur le territoire soulignent les importantes connexions de cette nappe avec le réseau hydraulique superficiel et les milieux naturels qui existent sur la Crau.

3. La culture du foin de Crau

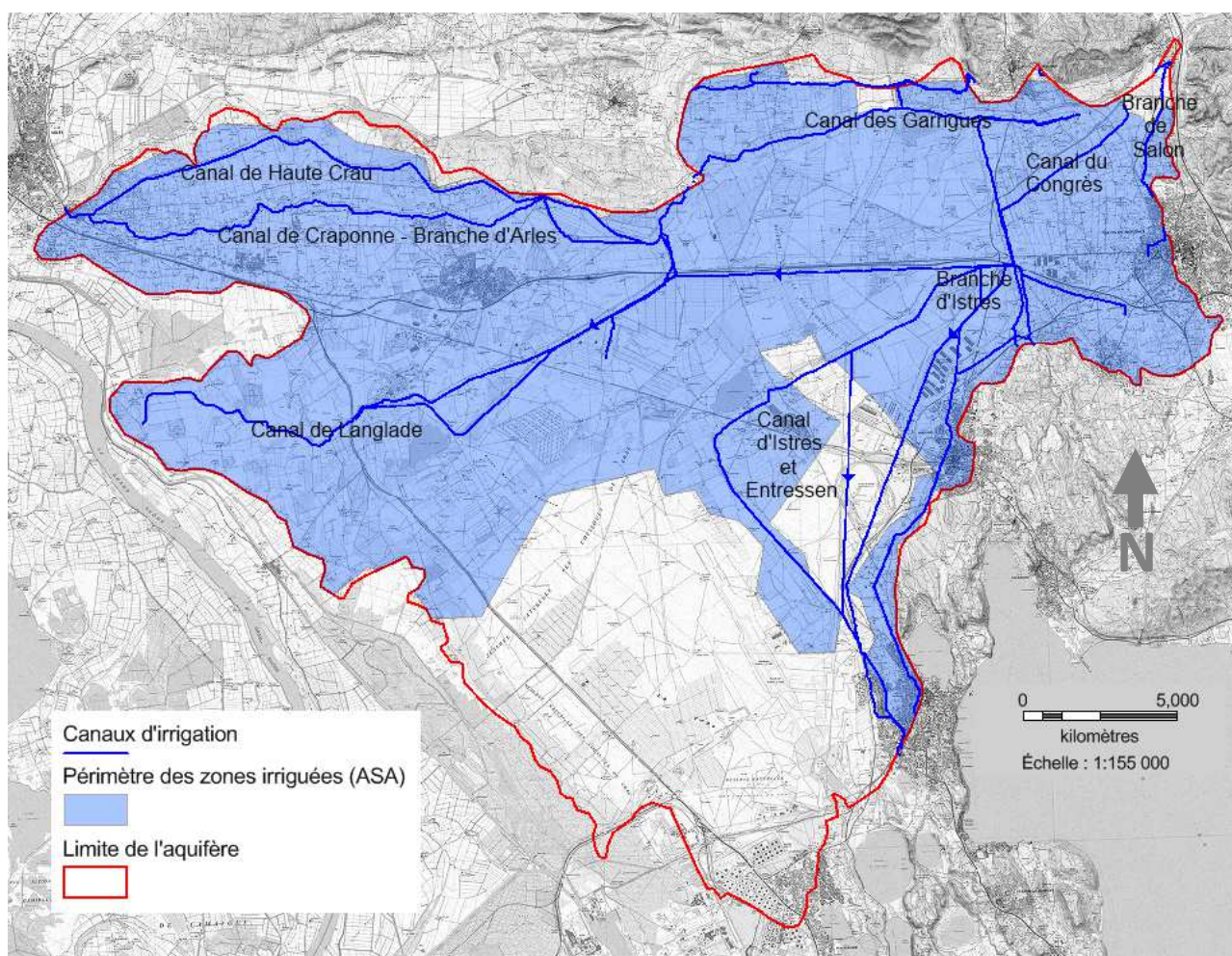


Figure 4 : Carte de l'irrigation sur la Crau

Comme il a été dit précédemment, les prairies de foin de Crau constituent un apport majeur pour la ressource en eau souterraine. Elles utilisent un mode d'irrigation traditionnel par submersion. Cela consiste en un arrosage brutal équivalent à une lame d'eau de 120 mm en quelques heures. Ce laps de temps est appelé « tours d'eau », ils sont régis par un calendrier d'irrigation. Ces tours d'eau répartissent l'eau d'irrigation gravitaire sur le territoire et permettent aux canaux d'avoir toujours un niveau d'eau maximum (sinon l'eau n'arrive pas à franchir la topographie pour alimenter les parcelles en bout de réseau).

Chaque parcelle ayant un droit d'eau est alimentée par de petits canaux appartenant à chaque propriétaire foncier, les filioles. L'eau stoppée par une martelière déborde, submergeant ensuite la culture. Les excédents sont drainés dans des canaux d'assainissement par les colatures.

Certains producteurs étant trop éloignés du périmètre des ASAs (Associations syndicales Autorisées qui sont à l'origine des canaux, les entretiennent, et maintenant, régissent les calendriers d'irrigation) ou ayant des problèmes d'alimentation (tours d'eau manqués), irriguent parfois à l'aide d'un ou plusieurs forages agricole qui prélève l'eau directement dans la nappe. Ce serait actuellement plus de 300 ouvrages déclarés qui prélèvent dans l'aquifère de la Crau, mais aussi dans un « aquifère sous-jacent » dont nous avons très peu d'informations.

4. Les prélèvements dans la nappe

La Crau ne bénéficie pas d'un réseau hydrographique naturel, c'est pourquoi la ressource en eau contenue dans le sous-sol est particulièrement importante. Elle sert à l'alimentation en eau potable d'une population d'environ 270 000 personnes, ainsi qu'à l'approvisionnement des activités économiques du territoire.

En moyenne, c'est près de 92 millions de m³ prélevés chaque année dans la nappe de Crau dont :

- 29 millions de m³/an pour l'eau potable (soit 14 communes)
- 17 millions de m³/an pour les activités industrielles
- 46 millions de m³/an pour les activités agricoles (ce chiffre est un volume autorisé, il est en cours d'actualisation par l'organisme unique de gestion collective des prélèvements agricoles sur la Crau)

III. Objectifs de l'étude

Le but de cette étude est de déterminer les impacts cumulés de l'aménagement du territoire de la plaine de Crau, sur la ressource en eau souterraine. Cette étude sera divisée en quatre parties :

- Récolte des données géoréférencées d'aménagements auprès des communes (POS et/ou PLU) et projets autoroutiers en vue de créer une carte généralisée à l'échelle de la nappe
- Recoupement de ces données avec les prairies irriguées de foin de Crau
- Quantification des impacts de la disparition de prairies sur la recharge de l'aquifère
- Etude de faisabilité pour compenser les impacts sur la ressource en eau souterraine

Les résultats et les outils produits dans le cadre de cette étude seront mis à la disposition des aménageurs concernés pour les aider à réduire et/ou compenser les impacts sur la nappe.

Plusieurs enjeux sont à prendre en compte dans le cadre de cette problématique :

- Les protections naturelles permettent de conserver le patrimoine régional mais cela peut plus ou moins directement figer une partie des réserves foncière agricoles qui sont, quant à elles, un « patrimoine vital ».
- Les prairies de foin de Crau sont nécessaires à la recharge de la nappe, mais ce sont aussi les dernières niches foncières pour l'expansion des villes, engendrée par l'augmentation démographique.
- Enfin, la disponibilité de la réserve en eau agricole est fonction de l'enneigement du massif des Alpes, des besoins électriques d'EDF, du débit réservé à la Durance, mais aussi des besoins des activités touristiques autour du barrage de Serre-Ponçon.

IV. Récolte de données

Le rapport d'étude qualitatif et quantitatif de la nappe de la Crau a été utilisé pour alimenter la présente étude en données cartographiques. Cependant une phase de récolte de données complémentaires a été nécessaire notamment sur l'aménagement du territoire et la révision du zonage des prairies de foin puisque l'étude de 2009 ne prenait en compte que les prairies AOC.

1. Données d'aménagement du territoire

Un état des lieux des documents d'urbanismes de chaque commune a été mis en place en prenant contact avec les maîtres d'ouvrages :

Communes	Superficie (km ²)	Document d'urbanisme	Fourni par
Arles	760	POS	ACCM
Saint-Martin-de-Crau	215	PLU	
Mouriès	38,5	POS (PLU en projet)	Mairie de Mouriès
Aureille	22	POS	Mairie d'Aureille
Eyguières	69	PLU	Mairie d'Eyguières
Lamanon	19,5	PLU	Mairie de Lamanon
Salon-de-Provence	70,5	PLU (en projet)	AGGLOPOLE PROVANCE
Grans	27,5	PLU	SAN OUEST PROVENCE
Miramas	26	PLU	
Istres	114	PLU	
Fos-sur-Mer	92,5	POS	

Tableau 2 : Récapitulatif des types de documents d'urbanisme pour chaque commune

Intercommunalités :

C.A Arles Crau Camargue Montagnette

C.C Vallée des Baux et des Alpilles

C.A Agglopoile Provence

S.A.N Ouest Provence

A l'origine, les Plan d'occupation du Sol (POS) étaient des documents d'urbanisme qui n'avaient que pour seule vocation de sectoriser les usages futurs, à l'échelle d'une commune.

En 2000, le Schéma de cohérence territoriale (SCoT) est instauré. C'est un document d'urbanisme, à l'échelle de plusieurs communes, visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles notamment en matière d'urbanisme, d'habitat, de déplacements et d'équipements commerciaux, dans un environnement préservé et valorisé.

Le SCoT donne les grandes lignes pour les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) qui sont supposés remplacer les POS de toutes les communes de France. Ces PLU vont permettre d'avoir une gestion plus durable de l'aménagement.

Cette évolution du POS vers le PLU s'inscrit dans une dynamique de développement des communes et engendre des consommations futures de terre agricole reclassées qui touche à la fois les agriculteurs, la nappe phréatique, et plus globalement, l'équilibre des ressources. Certes, ces expansions urbaines peuvent être inévitables et se font, parfois, au détriment de prairies irriguées. Par contre, il arrive que les aménageurs entendent compenser les impacts de cette expansion urbaine par le fait que des terres agricoles encore cultivées aujourd'hui mais devenues urbanisables, soient « rendues » à l'agriculture. Du point de vue de la ressource en eau, ces terres n'ont jamais cessées d'être cultivées et irriguées, elles ne peuvent donc pas être considérées comme « rendues » au milieu agricole mais plutôt « reclassées ».

Un recensement des projets routiers et autoroutiers a également été réalisé. Le tracé du contournement autoroutier de la ville d'Arles va permettre de calculer les impacts sur la recharge de la nappe. Par contre, ce n'est qu'une esquisse, étant donné que le projet n'en est qu'à ses débuts. Il manque donc certains ouvrages comme les aires d'autoroutes qui ne sont pas encore localisés. De plus, concernant le contournement autoroutier de Miramas, la DREAL sollicitée à plusieurs reprises, indique qu'aucune couche SIG n'est disponible pour ce projet. Toutefois, ses impacts devraient être minimales : au maximum deux hectares de prairies irriguées devraient être consommés par cette bretelle d'autoroute (selon un aperçu cartographique du projet).

2. ASTUCE & TIC – Révision des objectifs de l'étude

Un projet d'étude en cours de restitution au début de cette mission, nommé « *Anticipation des Aménagements Sécurisés des Territoires, des Campagnes et de leur Environnement par les Technologies de l'Information et de la Communication* » (ASTUCE & TIC), regroupe un consortium de chercheurs pour répondre à un appel à projet international basé sur les impacts du changement climatique. Celui-ci a pour but de développer un système d'aide à la décision afin de fournir aux décideurs une évaluation environnementale prospective de leur politique d'aménagement du territoire.

Ce projet est basé sur l'intégration :

- d'une chaîne d'acquisition de données de l'environnement,
- d'un système de collecte et transmission des données acquises localement,
- d'un fédérateur/serveur de données validées pour des modèles de simulation,
- de modèles de simulation spatiale et dynamique de l'environnement,
- de modèles économiques,
- d'un tableau de bord d'indicateurs environnementaux et économiques.

Le SYMCRAU ayant participé à l'enrichissement de la base de données de ces modèles, certaines données nécessaires à la réalisation de cette mission et lourdes à créer ou à compiler ont pu être récupérées directement via la base de données de ce projet. Ce gain de temps a permis d'approfondir la problématique de l'étude, pour ce faire, il a été nécessaire de revoir ses objectifs :

- Première partie : Calcul des impacts de l'aménagement

La cartographie des prairies a été récupérée à partir du projet ASTUCE & TIC. De même pour la couche de répartition des drainages (volumes de recharge pour la nappe), ainsi que le découpage des parcelles agricoles sur le domaine de la Crau.

Via l'outil SIG, ces données permettront d'obtenir rapidement les superficies de prairies humides qui sont vouées à disparaître au cours de la durée d'application des documents d'urbanisme (généralement 10 ans pour les derniers PLU). Les données de répartition des drainages vers la nappe permettront, quant à elles, de calculer précisément les quantités d'eau qui n'alimenteraient plus l'aquifère si ces prairies irriguées disparaissaient.

Enfin, il faudra aussi estimer l'augmentation de la consommation en eau engendrée par les nouveaux aménagements prévus par les documents d'urbanismes (notamment avec les Programmes Locaux de l'Habitat (PLH) et les Projets d'aménagement et de développement durable (PADD) des documents d'urbanisme).

- Deuxième partie : Phase prospective

Le projet ASTUCE & TIC étant basé sur le changement climatique, les scénarios choisis ne mettent pas en valeur les impacts directs de l'occupation du territoire sur la recharge de la nappe. Ces scénarios intègrent tous une diminution de 30% de la dotation en eau des canaux d'irrigation, ainsi qu'une augmentation de 30% de la consommation d'eau. Ces prévisions paraissent drastiques à tel point qu'elles « masquent » totalement les effets des différents choix d'aménagements qu'ont essayé d'analyser les chercheurs de ce projet.

Il semble donc important d'étudier le devenir de la Crau en se basant sur l'état actuel de nos connaissances du climat, et en ne faisant varier qu'exclusivement l'occupation du sol, dans un premier temps. Par la suite, ajouter à cela un impact plus modéré de la restriction de dotation dans un, ou plusieurs autres scénarios, permettrait de voir comment réagi la nappe à une diminution de recharge. Pour ce faire, il a été possible d'utiliser les modèles implémentés dans le cadre de ce projet de recherche mais avec des scénarios différents.

- Troisième partie : Création de nouvelles prairies irriguées

Pour traiter cette partie, un groupe de travail regroupant des acteurs choisis spécifiquement, a été créé pour la mise en place d'un outil de rechercher des meilleurs emplacements pour de nouvelles prairies :

- Contrat de canal Crau-Sud Alpilles
- Les Arrosants de la Crau
- Le Comité de foin de Crau



Photographie d'une martelière irrigant une prairie

V. Calculs des impacts de l'aménagement

Le logiciel de cartographie utilisé est MapInfo 11. Ce dernier va permettre de mettre en place un Système d'Information Géographique (SIG) pour calculer et extraire les informations nécessaires à l'étude.

1. Superficies de prairies concernées

En superposant les différentes couches récupérées ou créés, il est possible d'extraire et calculer les surfaces de prairies qui sont susceptibles d'être consommées par l'urbanisation en Crau à l'échelle des documents d'urbanisme, comme le montre la figures ci-dessous :

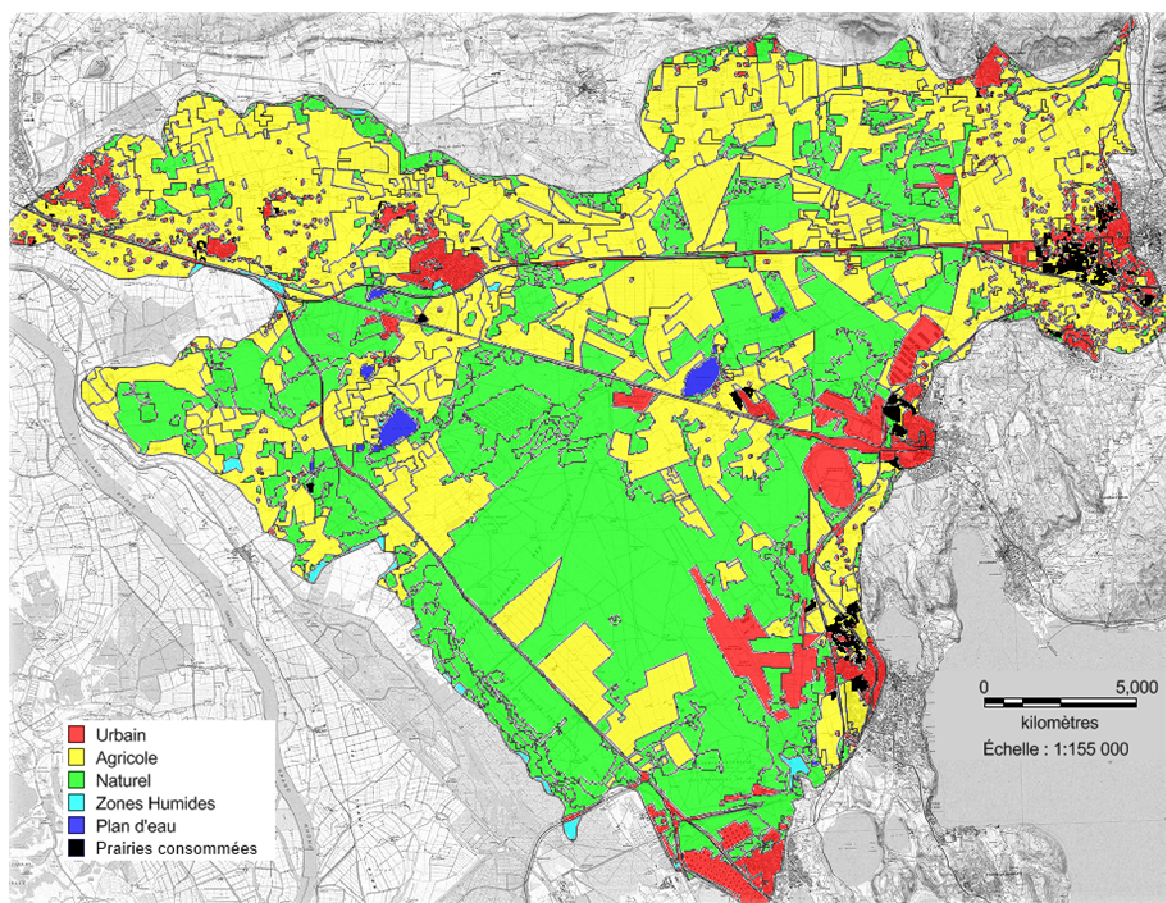


Figure 5 : Zonage simplifié de l'occupation du sol (©CRIGE 2006) avec les prairies impactées par l'urbanisation

Il est important de noter que cette première carte représente la réalité de l'occupation du sol (selon le Centre Régional de l'Information Géographique CRIGE), alors que la suivante est une simplification

des documents d'urbanisme prévus par chaque commune. La carte suivante est donc une classification faite par les aménageurs de l'occupation du territoire à un temps donné.

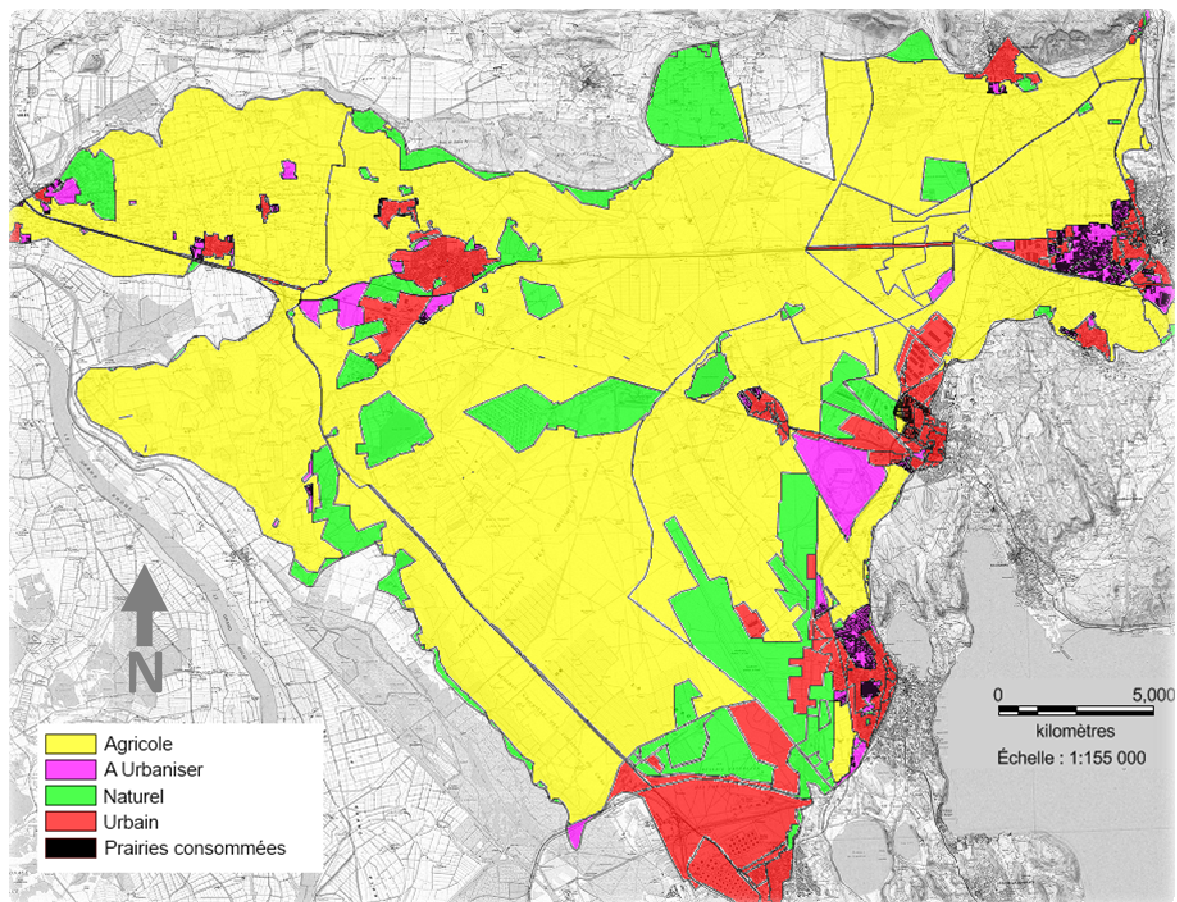


Figure 6 : Zonage simplifié des POS-PLU des communes de la Crau avec les prairies impactées par l'urbanisation

Remarque : la zone manquante au nord du domaine de la Crau correspond à l'absence de donnée d'urbanisme numérisées pour la commune d'Aureille. Mais cette dernière, ne prévoit qu'une seule parcelle potentiellement urbanisable qui ne correspond pas à une prairie irriguée.

A l'échelle de la Crau, c'est près de **500 hectares** de prairies irriguées vouées à disparaître dans les 10 prochaines années (échéances des PLU) sur un total de 13 960 ha de prairies irriguées (en 2009).

Remarque : Ce résultat est nettement sous-évalué car la commune d'Arles n'a pas pu fournir de documents cartographiques autres que le POS en vigueur, qui est relativement ancien. Par ailleurs, le PLH en cours est quasiment entièrement mis en œuvre. Il n'est donc pas possible d'avoir une vision pour cette commune, cependant les rencontres effectuées auprès des élus d'Arles permettent d'avancer que des impacts sont à prévoir puisque les seules possibilités d'extension de cette commune se situeraient sur la plaine de la Crau qui est le seul espace communal non concerné par les risques d'inondation du Rhône. D'autant plus que les observations montrent bien que la création d'un contournement autoroutier engendre inévitablement une densification urbaine entre celui-ci et le reste de la ville.

2. Critiques des résultats

Une seconde réunion du groupe de travail ayant pour but d'améliorer ces résultats. Deux principaux problèmes fondamentaux ont été révélés dans l'étude des prairies consommées par l'urbanisation :

- Spatial : Il y a une différence d'échelle dans les objectifs de chacun par rapport à cette étude. Les communes attendent de cette étude des résultats précis à l'échelle quasi parcellaire. Or, les données sources d'ASTUCE & TIC ont été créées, à l'échelle parcellaire, certes, mais dans une optique d'étude à l'échelle de toute la Crau. Donc les biais à la parcelle étaient supposés négligeables et compensables lorsqu'ils étaient rapportés à toute la Crau.
- Temporel : Tout d'abord, les prairies irriguées ont été identifiées à l'aide de données datant au mieux de 2010 (principalement 2009). Celles-ci ont ensuite été mises à jour par le comité de foin de Crau se basant sur la réalité actuelle de 2012. Cette correction étant vraiment trop longue pour les zones périurbaines constituées de petites parcelles irriguées très difficilement reconnaissables, cela crée des lacunes dans les zones périurbaines qui sont justement les plus touchées par l'extension des villes.

De plus, les documents d'urbanismes qui ont permis de localiser les prairies vouées à disparaître ont tous été créés et projetés à des dates différentes. Il est donc impossible de comparer réellement les communes entre elles puisque certaines n'ont même fournis que le POS datant parfois d'il y a 10 ans. Les zones qui étaient vouées à être urbanisées dans ces POS, le sont à l'heure actuelle. De plus, certaines communes mettent actuellement en place des projets d'urbanisation dont la plupart des acteurs de la Crau connaissent l'existence, mais les détails du projet ne sont pas divulgués. En effet, les documents fournis par ces communes ne sont pas représentatifs de leurs choix actuels d'urbanisation.

Enfin, 2010 est un peu une année « charnière » dans l'évolution de l'occupation des sols en Crau car un grand nombre de prairies ont déjà disparues par une vague d'urbanisation vers 2008. Il faut ajouter à cela que la reconnaissance des prairies irriguées par télédétection à cette échelle est une première, ces travaux pourraient donc être les prémices d'une surveillance SIG plus régulière de l'occupation du territoire de la Crau.

Pour remédier à ces difficultés, le SYMCRAU, avec l'aide des Arrosants de la Crau, a mis à jour les prairies des zones péri-urbaines à l'aide des orthophotos de la région datant de 2009 (pour essayer de minimiser au mieux les biais temporels).

Enfin, si les besoins s'en font ressentir, cette méthodologie pourra être facilement réutilisée à l'échelle communale à partir de données cadastrales.

3. Correspondance en volumes d'eau

Il est maintenant possible d'aller plus loin en calculant la perte de recharge en eau pour la nappe. Pour cela, le parcellaire du bilan hydrique des prairies irriguées obtenus par ASTUCE & TIC a été utilisé.

Ce zonage d'eau drainé vers la nappe (*figure 8*), provient du modèle de culture STICS qui est représenté par le diagramme en annexe. STICS prévoit un cycle cultural annuel appliqué à une parcelle agricole. Il est donc nécessaire de renseigner un cortège de paramètres pour calibrer ce cycle. Un outil permet ensuite d'enchaîner STICS sur plusieurs années et permet notamment d'éviter l'interface homme/machine de STICS qui est conçue pour traiter des simulations au cas par cas.

Ce modèle considère 6 grands processus pour calculer les indicateurs :

- La détermination des cycles culturaux et de leur extension spatiale
- La détermination des propriétés de sols (ci-dessous)
- La détermination du climat
- La détermination des paramètres plantes
- La détermination des itinéraires techniques
- Réalisation des simulations et agrégation des résultats par un cumul spatial pour déterminer les résultats.

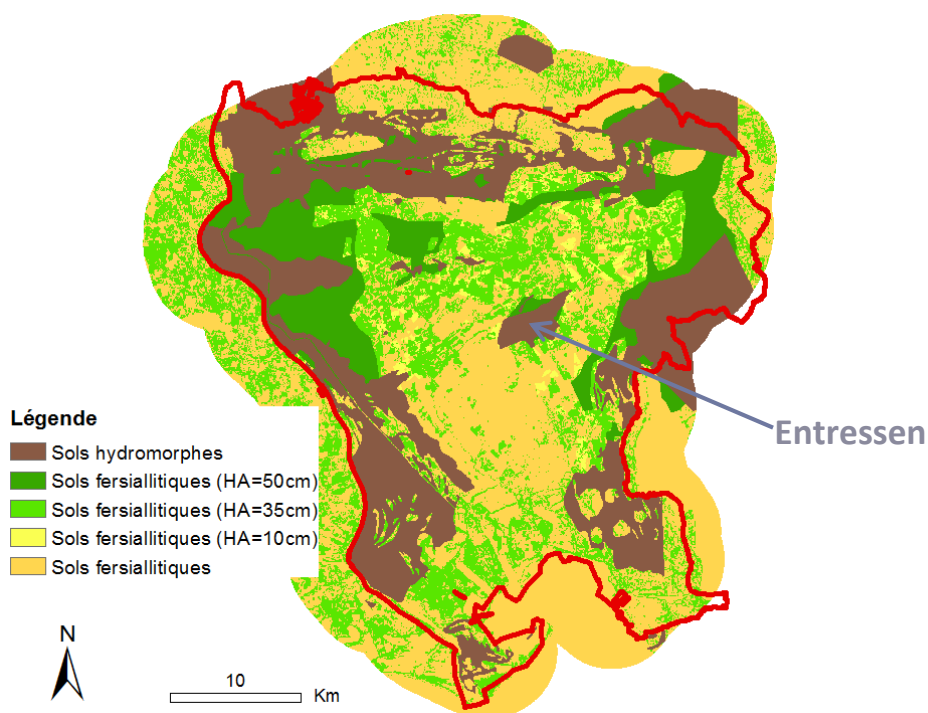


Figure 7 : Carte des sols établie pour les simulations par le modèle STICS sur la plaine de la Crau (©ASTUCE & TIC)

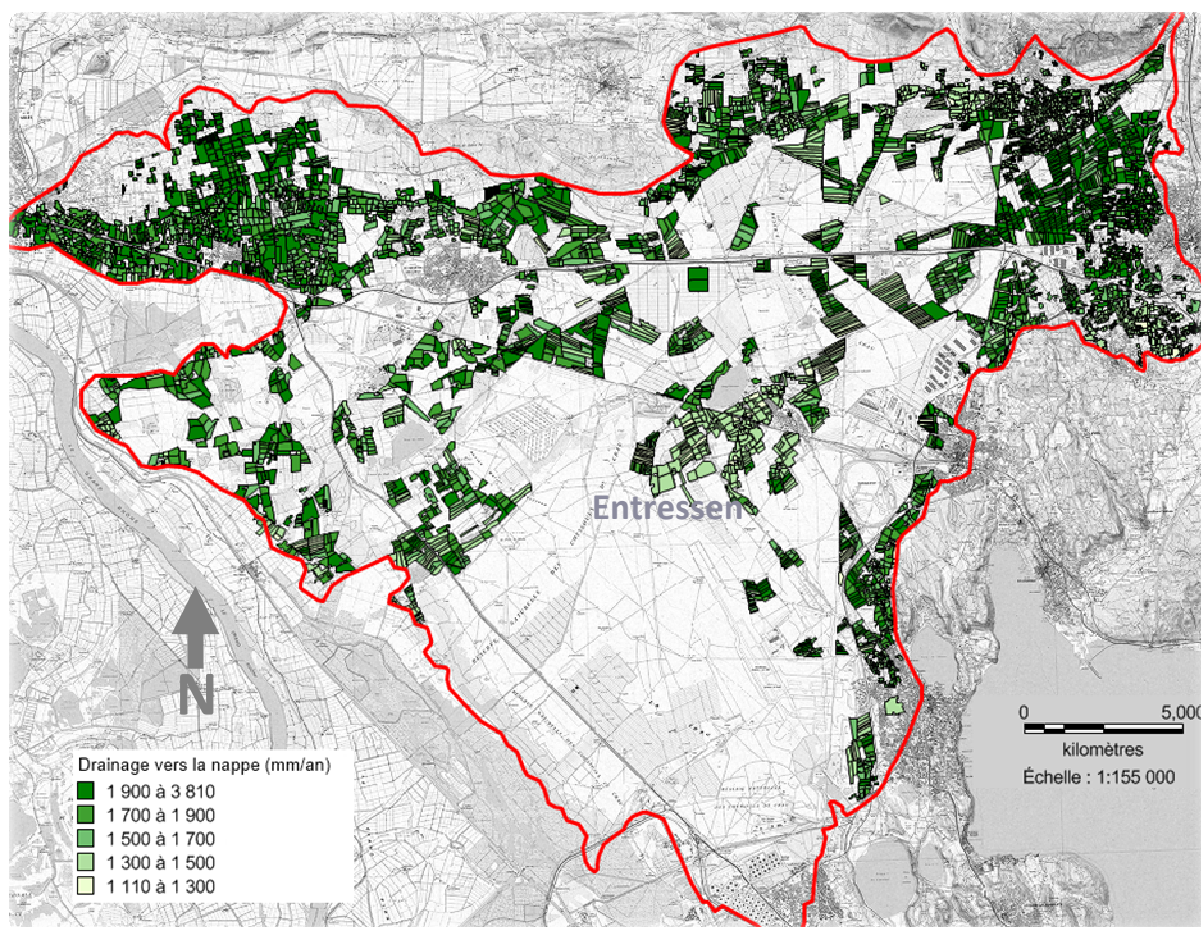


Figure 8 : Carte résultante de l'alimentation de la nappe par les prairies par ASTUCE & TIC

A l'aide de ce bilan hydrique parcellaire résultant du modèle STICS, il est possible de rapporter la quantité d'eau infiltrée (champs « DRAIN » dans les tables) à la surface des prairies irriguées concernées par les PLU. Cela permet donc de transformer une lame d'eau (mm/an) en un volume drainé (m^3/an).

Le **total de perte** de recharge pour la Crau est donc d'environ **9 millions de m^3 par an**.

A titre indicatif, cette masse d'eau correspond :

- à 30% des prélèvements annuels AEP totaux
- à 10% de tous les prélèvements qui sont effectués dans la nappe de la Crau
- aux consommations annuelles en AEP collectif des communes d'Istres, Miramas et Saint-Martin-de-Crau réunies.

Moyenné sur toute la Crau, **un hectare de prairies irriguées** subvient aux **besoins en eau** potable de **200 personnes** (en utilisant la consommation moyenne par habitant tirée du *Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Bouches-du-Rhône* de $81,45 m^3/an$).

4. Projet autoroutier d'Arles

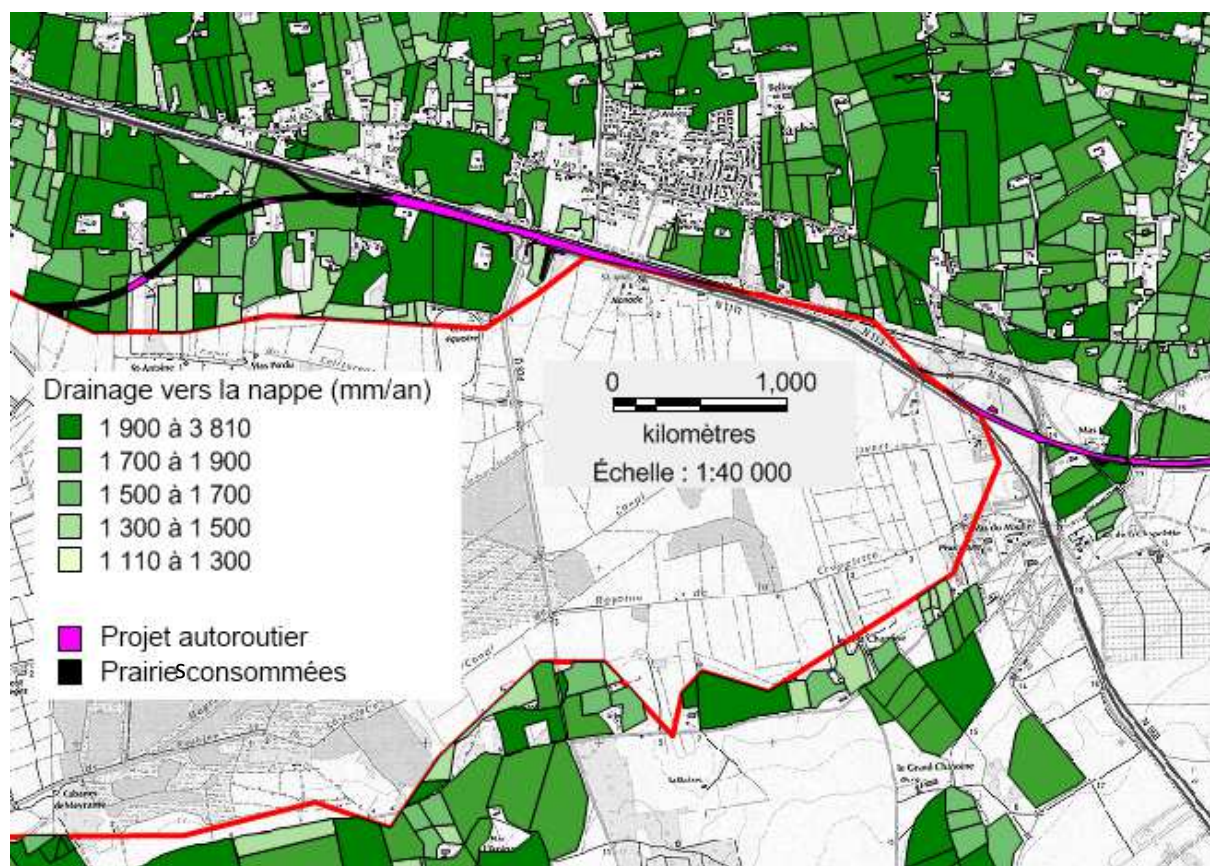


Figure 9 : Consommation des prairies irriguées par l'autoroute au Sud-Est d'Arles

Une consommation d'environ **10 hectares** de prairies irriguées sera réalisée par le projet autoroutier d'Arles. Il est donc possible d'obtenir la quantité d'eau qui ne sera pas drainé jusqu'à la nappe par an. Pour cela, on rapporte la lame d'eau drainé, à la surface de chaque polygone étudié. Une perte d'environ **174 000 m³ d'eau par an** est à prévoir, mais il faut remarquer que la question de la localisation des aires d'autoroutes et d'une zone technique n'a pas encore été réglée, ce qui sous-estime les impacts sur la recharge en eau. De plus, la création de ce tronçon va avoir un effet indirect sur l'extension des zones urbaines.

5. Quelques remarques sur le drainage

La variation spatiale des valeurs de drainage sur les deux cartes précédentes est fonction de deux principaux facteurs interdépendants : Le type de sol, ainsi que l'âge des prairies.

L'alimentation de la nappe par les prairies est fonction de la « pédologie initiale ». Les *figures 7 et 8* montrent que cette pédologie est directement liée au drainage. Par exemple, au niveau d'Entressen (au sud de son étang, en plein milieu de la Crau), dans la *figure 7*, la zone est constituée de sols hydromorphes qui ont tendance à « retenir » l'eau, et donc apportent moins d'eau à la nappe comme le montre la *figure 8*.

En effet, les sols sont globalement peu perméables avec un Horizon A de Limon épais, ce qui nous informe sur l'ancienneté des prairies. Plus l'Horizon A de ces sols d'origine fersiallitiques est épais, plus il y a de limons qui ont été apporté par les eaux d'irrigation. Donc, plus la prairie est ancienne, plus le sol s'est imperméabilisé.

Il en va de même pour les sols hydromorphes qui sont fondamentalement différents avec des caractéristiques hétérogènes mais ces sols ont comme point commun d'avoir une réserve utile en eau importante. Les prairies se développent principalement sur des sols hydromorphes et des sols fersiallitiques sur lesquels un horizon limoneux s'est développé.

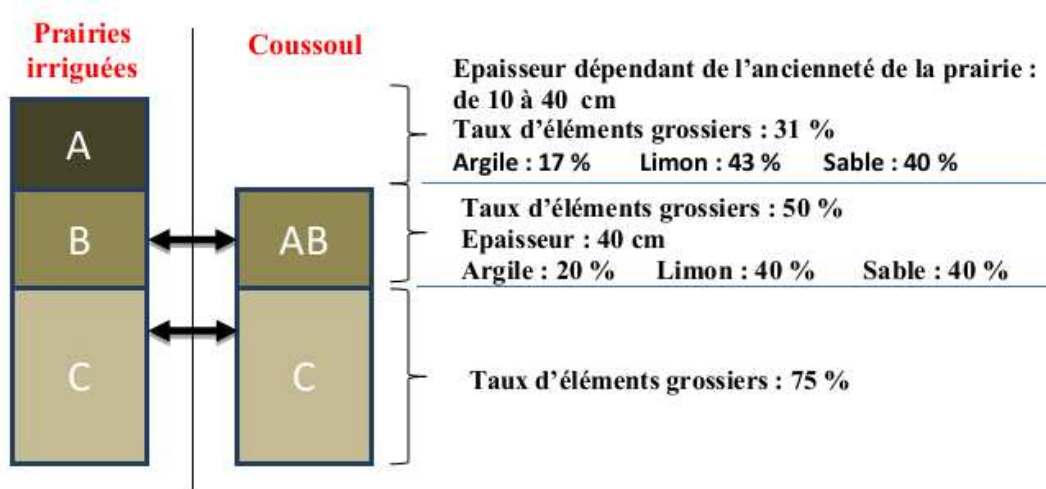


Figure 10 : Schéma simplifié de la pédologie des deux principaux types de terrains en Crau

Une perte totale en eau pour la nappe de la Crau d'environ 9 millions de mètres cubes par an a été obtenu. Il est possible de comparer ce chiffre avec un calcul estimatif rapide effectué avec les paramètres suivant :

- Volume d'eau brute moyen annuel apporté sur un hectare de prairie de Foin de Crau : 20 000 m³ (compris entre 15 000 et 25 000 m³/ha/an selon *le Comité de Foin de Crau et la Chambre d'Agriculture*)
- Pourcentage de ce volume qui atteint la nappe : 41% (donnée tirée du *Diagnostic Quantitatif* fait pas le bureau GINGER)

Avec cette méthode rapide, c'est un peu plus de 4 millions de mètres cubes qui seraient soustrait chaque année à la nappe. C'est deux fois moins que ce qu'il a été précédemment obtenu avec les données d'ASTUCE & TIC.

Les deux paramètres qui étaient utilisés à l'heure actuelle pour la plupart des calculs estimatifs sur la recharge de la nappe phréatique, ont été déterminés à partir d'étude sur des prairies expérimentales qui ne sont pas représentatives de la « pédologie moyenne » des prairies irriguées en Crau :

- L'estimation du volume d'eau brute moyen annuel (20 000 m³/ha/an) est une estimation délicate car, à la fois la pédologie, mais aussi les irrégularités de la topographie des prairies irriguées peuvent faire varier ce volume irrigué du simple au double.
- Le pourcentage d'infiltration efficace vers la nappe (41%) est lui aussi sous-estimé par rapport à ce qu'a révélé la modélisation d'ASTUCE & TIC. Les mesures qui sont à l'origine de ce chiffre ont été faites sur le domaine du Merles dont les prairies sont réputées pour leur ancienneté. Elles possèdent alors d'importants horizons limoneux, et donc alimentent moins la nappe que les autres prairies du reste de la Crau. Plusieurs chercheurs de l'INRA et de l'Université d'Avignon ont été contactés pour avoir leurs avis. M. CHANZY a affirmé que les expérimentations, qui ont permis d'alimenter le modèle d'ASTUCE & TIC, ont révélé que le drainage efficace vers la nappe pouvait monter jusqu'à 80%. Un récent rapport de stage de l'Université d'Avignon a également confirmé cette hausse d'estimation en calculant expérimentalement un drainage moyen de 65% qui confirme également la littérature récente (Mailhol et Merot, 2008. Merot et al. 2008. Chabas M, 2003).

Ceci explique la différence entre les résultats des deux méthodes, puisqu'avec les bons paramètres il est possible d'arriver aux mêmes volumes d'eau. Cette étude permet donc de faire évoluer notre connaissance de la Crau. Les expérimentations locales ont sous-estimé le pourcentage d'infiltration efficace, mais la prise en compte de la pédologie à l'échelle du domaine d'étude, ainsi que les mesures et rapports qui ont été publiés ces dernières années, permettent d'affirmer qu'en moyenne, **65% de l'eau qui irrigue les prairies alimente la nappe de la Crau.**

6. Surconsommation AEP possible engendrée par les choix d'urbanismes

Pour évaluer les impacts sur la ressource en eau de l'aménagement, il est également nécessaire d'estimer l'évolution de la consommation en eau potable engendrée par les prévisions démographiques des communes. Nous allons ici nous intéresser seulement à l'AEP domestique car il n'est pas possible d'estimer l'augmentation de la consommation liée aux activités économiques.

En premier lieu, une actualisation des données de consommations a été effectuée auprès des délégataires d'eau potable qui alimentent les communes de la Crau.

Pour calculer l'augmentation des consommations domestiques, la moyenne de consommation par habitant pour les Bouches-du-Rhône tirée du *Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Bouches-du-Rhône* a été utilisée soit 223 L/hab./j (donc 81,45 m³/hab./an).

Il a également été nécessaire de s'informer sur les prévisions démographiques que se fixent chaque commune dans divers documents de planification tels que : les PLUs, les PLHs ainsi que dans certains Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT) à l'échelle intercommunale.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau récapitulatif ci-dessous (avec les volumes concernés par la disparition des prairies pour pouvoir comparer ces chiffres) :

	Prélèvements AEP publique moyen dans la Crau (m3/an)	Pertes d'eau disparition prairies par application des documents d'urbanisme (m3/an)	Augmentation possible des consommations AEP à l'échelle des PLU (m3/an)
Istres	4 539 000	2 480 000	1 060 020
Miramas	3 424 900	1 075 000	325 800
Arles	5 004 300	435 000	407 250
Fos-sur-Mer	2 200 600	0	244 350
Saint-Martin-de-Crau	1 436 100	230 000	138 465
Salon-de-Provence	1 263 700	3 900 000	366 525
Aureille	173 000	0	6 516
Grans	0	780 000	0
Eyguières	0	55 000	0
Port-Saint-Louis	1 049 200	0	158 828
Martigues	0 (hors pénuries)	0	0
Port-de-Bouc	2 436 800	0	?
Total	23,4 Mm³/an	9 Mm³/an	2 Mm³/an

Tableau 2 : Récapitulatif des volumes d'eau concernés par l'urbanisme sur la plaine de la Crau

Ces résultats devront être nuancés au vu des éventuels changements de pratiques des ménages liés à différents facteurs susceptibles de faire évoluer la consommation par habitant à la hausse ou la baisse (augmentation du prix de l'eau, diminution de consommation en eau des appareils ménagers, sensibilisation aux économies d'eau mais aussi augmentation du recours à des forages privés). Ce travail n'as pas pu être réalisé à travers la présente étude.

L'augmentation des consommations d'eau calculées avec les prévisions démographiques ne sont donc pas négligeables. Mais ce n'est pas ces consommations des habitants s'installant sur d'anciennes prairies qui risquent d'impacter significativement la nappe, mais bien le simple fait de ne plus irriguer ces prairies.

Remarque : Les villes d'Arles et Salon-de-Provence possèdent une importante partie de leur commune en dehors de la nappe de la Crau. Ainsi ce n'est pas toute la population de ces villes qui est alimenté par la Crau. Seule la part de population concernée a été considérée pour les calculs d'évolution des consommations. Par ailleurs, les consommations moyennes sont calculées à partir des populations qui sont alimentées exclusivement par la nappe de Crau y compris pour les communes territorialement en dehors de la Crau.

VI. Prospection modélisée

1. Modélisation d'ASTUCE & TIC

ASTUCE & TIC (« Anticipation Sécurisée des Territoires Urbanisés, des Campagnes et de leur Environnement fondée sur les nouvelles Technologies de l'Information et des Communications ») a pour but d'évaluer et représenter, grâce au calcul de plusieurs indicateurs complémentaires, différents phénomènes interdépendants et dont les causes communes correspondent à deux changements globaux : le changement d'occupation des sols lié à l'urbanisation du territoire et le changement climatique.

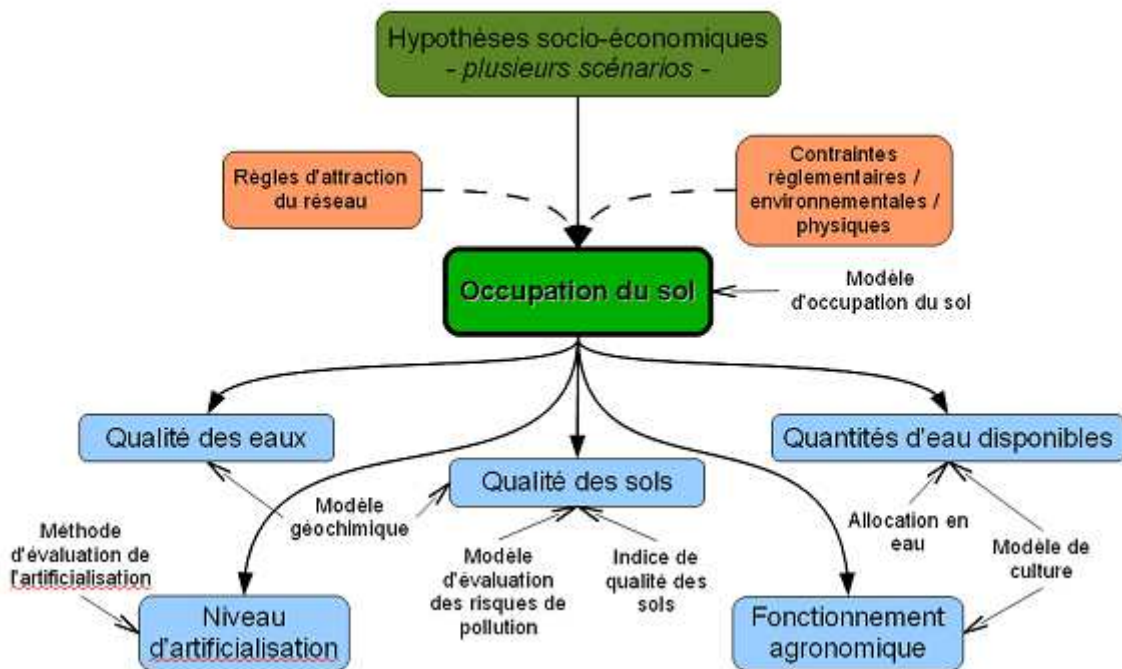


Figure 11 : Interaction entre les compartiments du territoire étudié (©ASTUCE & TIC)

Les données d'entrée sont produites par des modèles éprouvés pour chaque thématique. Le choix de ces modèles était notamment basé sur les enjeux de la plaine de la Crau, mais la méthode reste la même, puisqu'elle vise à être reproduite dans d'autres régions du monde potentiellement impactées par le réchauffement climatique.

Tous ces modèles sont interconnectés. Ils échangent leurs données et résultats pour constituer un système permettant de reproduire l'évolution de tous les compartiments présents (en bleu, dans la figure ci-dessus). Mais pour faire fonctionner ce système, il faut des données, certes, mais il faut aussi les « orchestrer », c'est là qu'interviennent les scénarios.

2. Mise en place de nouveau scénarios

Après avoir étudié l'origine de la plupart des données utilisées dans le rapport final dont la rédaction a été achevée peu après le début de cette étude. Il a été possible de s'intéresser aux modalités des quelques scénarios retenus dans le cadre de ce projet. Comme indiqué dans la révision des objectifs de l'étude, ASTUCE & TIC répond à un appel à projet basé sur le changement climatique. En effet, leurs scénarios sont faits de manière à ce que le paramètre climatique soit prépondérant sur les autres dans l'objectif d'observer au mieux les impacts de ses changements.

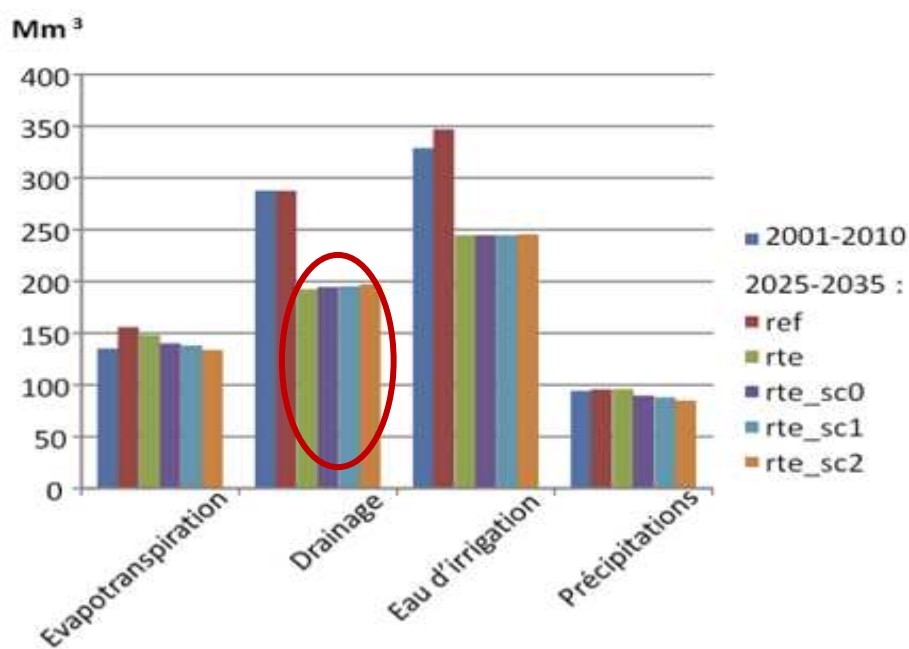


Figure 12 : Bilan hydrique des différents scénarios d'origines (©ASTUCE & TIC)

Nom du scénario	Description	Climat
ref 2001-2010	Occupation du sol de l'année 2009 Pas de modification de la ressource en eau	Climat enregistré par les stations météorologiques
ref 2025-2035	Scénario de référence Occupation du sol de l'année 2009 Pas de modification de la ressource en eau	Scénario climatique A1b sur la période 2025-2035
rte 2025-2035	Réduction de la ressource en eau de 30% Occupation du sol de l'année 2009	
rte_sc0 2025-2035	Réduction de la ressource en eau de 30% Occupation du sol issue du scénario tendanciel (Sc. 0)	
rte_sc1 2025-2035	Réduction de la ressource en eau de 30% Occupation du sol issue du scénario industriel (Sc. 1)	
rte_sc2 2025-2035	Réduction de la ressource en eau de 30% Occupation du sol issue du scénario tertiaire et résidentiel (Sc. 2)	

Figure 13 : Synthèse des scénarios utilisés pour simuler l'évolution des prairies irriguées sur la Crau (©ASTUCE & TIC)

La problématique initiale de la présente étude ne répondant pas aux mêmes objectifs qu'ASTUCE & TIC, les premiers résultats obtenus par ce projet s'avèrent difficilement exploitables. Dans la *figure 12*, selon les différents scénarios utilisés, les impacts de la disparition de prairies irriguées sur la recharge en eau de l'aquifère sont inexistant : Les scénarios *rte*, *rte_sc0*, *rte_sc1* et *rte_sc2* ont des drainages beaucoup plus faible que les deux premiers (2001-2010 et *réf.*). Mais cela est uniquement dû à la réduction de la ressource en eau de 30% car aucun changement n'est à noter lorsque la politique d'occupation du sol change en comparant le scénario *rte* avec *rte_sc0*, *rte_sc1* et *rte_sc2* dans le tableau récapitulatif de la *figure 13*.

Il est donc être nécessaire de mettre en place de nouveaux scénarios qui possèdent globalement les mêmes variables qu'à l'heure actuelle (conservation des paramètres de base d'ASTUCE & TIC), mais une première fois, sans prendre en compte la disparition des prairies par l'urbanisation, et une deuxième, avec les changements d'occupation du sol. Cela permettra de tester la disparition de prairies indépendamment du changement climatique.

3. Paramètres des scénarios

Nous allons donc faire tourner le système de modélisation ASTUCE & TIC en modifiant les modalités d'irrigation. Avec l'aide de l'ASCO des Arrosants de la Crau, nous avons tenté d'imaginer le futur de l'irrigation en Crau en se basant sur l'année 2007. En effet, en cas de crise climatique imposant une restriction de la dotation en eau, il s'offre aux ASA, deux modes de fonctionnement pour gérer les ressources d'eau gravitaire. C'est donc une bonne opportunité pour tester ces deux choix :

- Soit diminuer les débits d'eau à chaque prise mais en conservant le calendrier d'irrigation. Ce choix entraînerait la fin de l'irrigation gravitaire pour un grand nombre de parcelles situées en bout de réseau (Le réseau d'irrigation ne fonctionne correctement qu'à 100% de sa capacité).
- Soit conserver les débits mais avec un espacement des tours d'eau. Cela demanderait toute fois de modifier un calendrier d'irrigation dont certaines parcelles ont des droits d'eau inchangés depuis plusieurs centaines d'années.

Les modifications des scénarios sont récapitulées dans le tableau ci-dessous. « OS » indique l'application des prévisions de changement d'occupation du sol pour l'année 2030 pour tester l'effet de la disparition de prairies.

n°	Scénario	Occupation sol	Dotation canaux	Dose irriguée	Tours d'eau
0a	Tendanciel	2009	100%	100%	100%
0b	Tendanciel OS	2030	100%	100%	100%
1a	Restriction dose	2009	80%	80%	100%
1b	Restriction dose OS	2030	80%	80%	100%
2a	Restriction tour d'eau	2009	80%	100%	80%
2b	Restriction tour d'eau OS	2030	80%	100%	80%

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des modifications des scénarios d'ASTUCE & TIC

Il s'en suit 6 jours de calculs non-stop à raison d'une heure par année modélisée sur la Crau.

Quelques petits problèmes sont survenus, notamment sur le scénario de réduction de la dose d'irrigation. En effectuant une réduction de 20% de la dose sur le premier cycle de calcul (année 2009), la réduction des surfaces de prairies en 2030 est amplifiée, ce qui entraîne une réduction finale réelle de 30% de la dose. Cet oubli n'a pas pu être corrigé étant donné le temps pris pour faire tourner un scénario, mais les résultats restent tout à fait exploitables malgré cela.

4. Résultats et interprétations

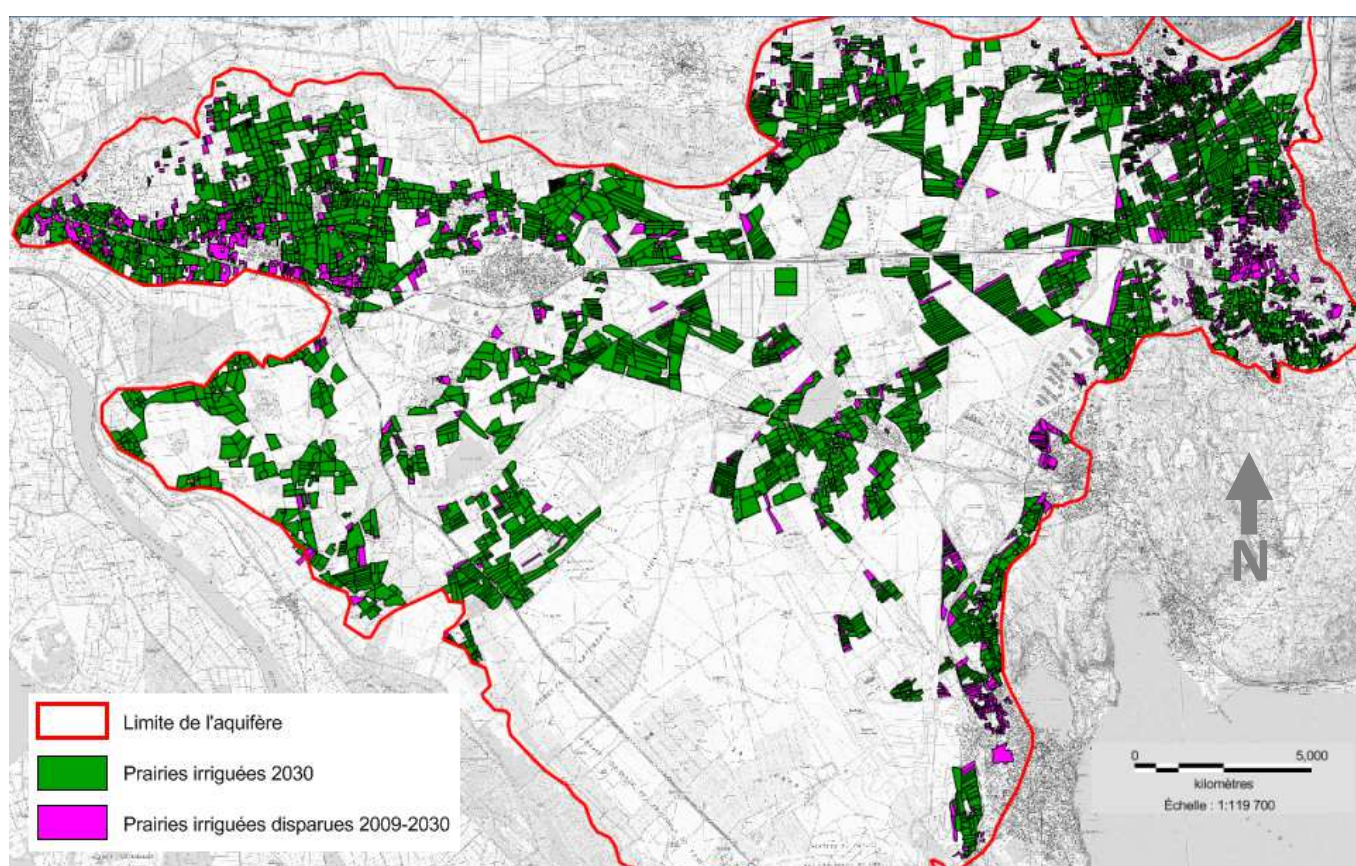


Figure 14 : Carte résultante de la nouvelle modélisation d'évolution de l'urbanisation

C'est environ **1800 hectares** de prairies irriguées qui devraient disparaître d'ici 2030 selon cette modélisation.

Ce résultat semble plausible puisque la période. Cela conduit à supposer que la consommation de ces prairies va encore augmenter avec la pression démographique. De plus, la tendance au mitage des espaces agricoles et naturels par prolifération du résidentiel diffus se poursuit, notamment entre Arles et Saint-Martin-de-Crau, ainsi qu'entre le centre de Salon-de-Provence et le quartier de Bel-Air, où une jonction s'opère en une dizaine d'années lors de la simulation.

Arles, par exemple, a beau être une des communes les plus importantes de France en superficie, elle a en réalité beaucoup moins de marge qu'il n'y paraît : son territoire est à 85% inondable et son

espace urbanisable concerne moins de 10% de sa surface. Ceci renforce encore la pression sur les espaces situés à l'est (vers la Crau).

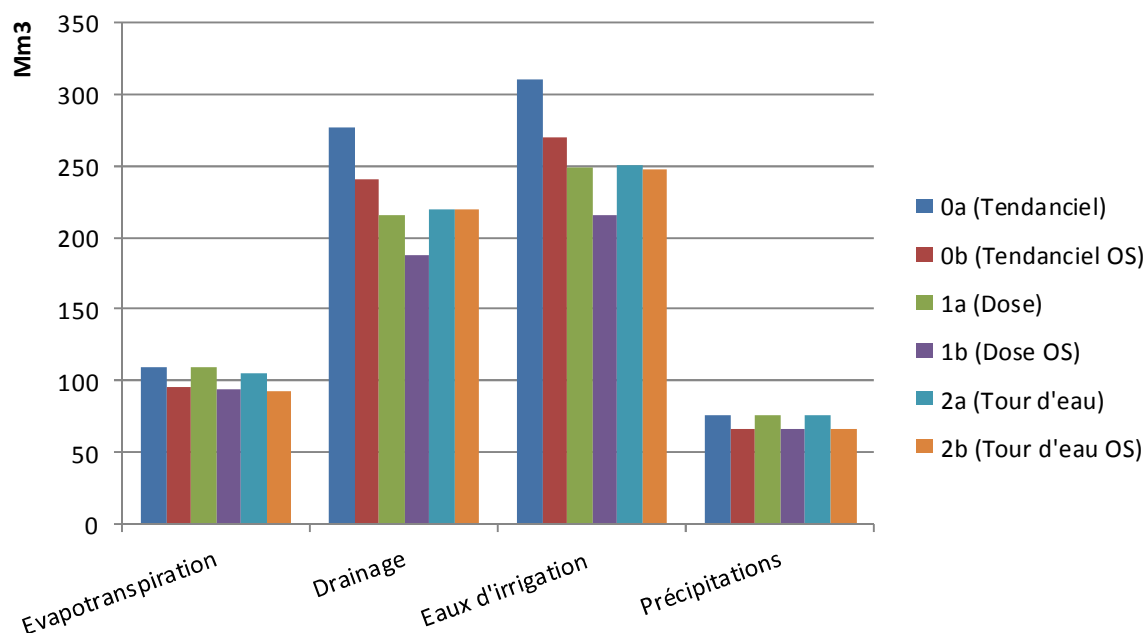


Figure 15 : Bilan hydrique de la nouvelle simulation pour 20 ans

Ce nouveau bilan hydrique semble être équilibré puisque les quantités d'eau entrantes (Irrigation + précipitation) et sortantes (Evapotranspiration + Drainage) au niveau de la parcelle sont bien les mêmes. En effet, après calcul, le bilan possède, dans le pire des scénarios, une erreur de 0,015 % par rapport au volume total d'entrée.

Contrairement à la modélisation d'origine d'ASTUCE & TIC (*figures 12 et 13* page 25), les effets de l'urbanisation sur la recharge en eau de la nappe sont observables : dans presque tous les cas, les scénarios avec l'occupation du sol 2030 ont des volumes plus faibles que ceux avec l'occupation du sol 2009.

Globalement, tous les volumes sont inférieurs aux résultats de la précédente simulation. C'est principalement dû aux modifications faites sur les prairies irriguées que la télédétection avait surestimées.

Une critique est tout de même nécessaire : ASTUCE & TIC a considéré que les agriculteurs n'utilisaient que l'eau nécessaire à l'arrosage des cultures. Dans la réalité, beaucoup utilisent la totalité de leur tour d'eau et le surplus est évacué vers les « canaux d'assainissement » par les colatures. De plus, pour diverses raisons, certaines parcelles sont irriguées avec ces eaux de colatures. La réalité est donc légèrement plus complexe que le modèle : il devrait avoir un mécanisme en plus dans le bilan hydrique : le ruissellement.

Les deux résultats de simulation montrent bien l'importance de l'irrigation en Crau puisque, cumulée sur 20 ans, les précipitations sont même inférieures à l'évapotranspiration. Les végétaux des prairies irriguées consommeraient donc à eux seuls, plus que l'eau précipitée sur leur parcelle (en considérant que les végétaux ne consomment jamais directement l'eau de la nappe).

Il est très difficile de dire si la Crau est menacée quantitativement par l'urbanisation. En effet, les 1800 hectares de prairies consommés d'ici 2030 pourrait potentiellement priver la nappe d'environ 36 millions de mètre cubes d'eau chaque année. Mais pour savoir si cela met en danger le demi-milliard de mètre cube de réserve utile de la nappe de la Crau, il faudrait effectuer une modélisation avancée de cet aquifère.

Il existe tout de même un risque qualitatif conséquent qui est directement lié à la diminution de la recharge de la nappe : l'intrusion du biseau salé sur la bordure Ouest à partir de la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer, jusqu'à hauteur de Mas Thibert. Lorsque la nappe phréatique perd de sa recharge, elle laisse la place à l'eau de mer qui pénètre dans l'aquifère et peut aller jusqu'à contaminer plusieurs forages agricoles ou d'eau potable en amont.

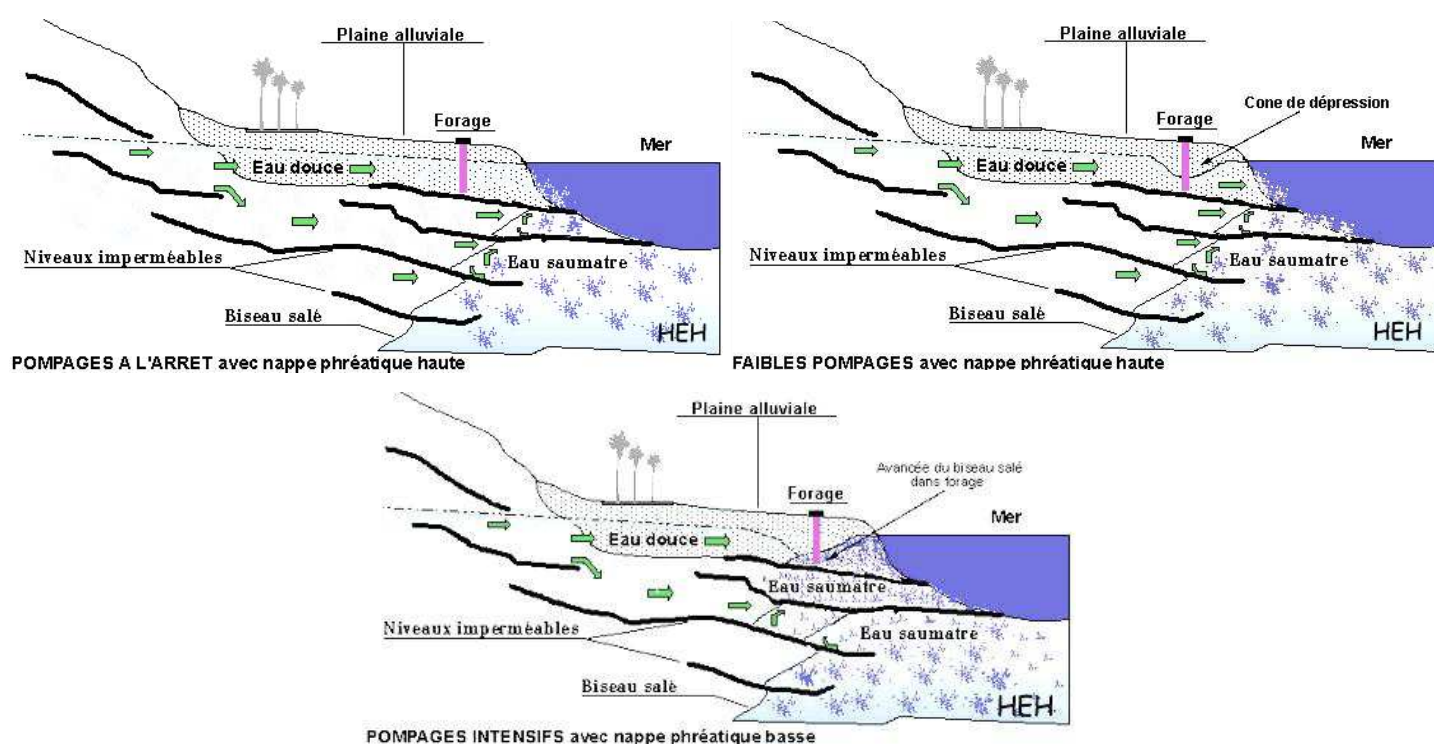


Figure 16 : Processus de salinisation d'une nappe côtière (© Michel Augias)

VII. Création de nouvelles prairies irriguées

Comme il l'a été précisé dans la révision des objectifs de l'étude (*Partie IV. 1. Page 13*), la démarche à suivre va être de créer une première carte avec les zones où il serait techniquement possible d'installer des prairies de foin de Crau, puis de soustraire tous les terrains administrativement non cultivables.

D'après le Comité de Foin de Crau, le seul critère technique pour la création de prairies irriguées gravitairement est justement l'irrigation. Les autres critères (comme la pente ou la nature du sol) sont respectés quel que soit le terrain choisit sur le territoire de la Crau. Il est donc d'autant plus facile maintenant de croiser les différentes contraintes.

Cette analyse est réalisée avec le logiciel SIG MapInfo. Elle consiste à évaluer chaque portion de sol étudiée en fonction d'une série de critères prédéterminés. Ces critères seront ensuite pondérés selon l'importance que l'on veut leur donner pour finir par hiérarchiser les zones qui sont les plus aptes à accueillir de nouvelles prairies irriguées.

Voici une série de critères concernant l'implantation de nouvelles prairies irriguées :

- Occupation du sol
- Modification du PLU
- Périmètre d'irrigation (ASAs)
- Zones protégées
- Proximité aux prairies déjà existantes

1. Mise en place des critères de notation

- Tout d'abord, l'**occupation du sol** (CRIGE 2006) a été notée selon des **critères de facilité d'implantation de nouvelles prairies** d'après les observations du Comité de Foin de Crau. Il a été convenu de réaliser cette analyse avec l'occupation du sol du CRIGE de 2006, malgré le fait qu'ASTUCE & TIC possède sa propre version plus récente (2009). En effet, cette dernière est exclusivement agricoles et pour pouvoir appliquer au mieux nos critères d'implantation de nouvelles prairies irriguées, il est aussi important de savoir quel type d'infrastructures sont présentent dans la réalité.

Type d'occupation du sol	Notation
Aéroports	0
Bâti diffus	0
Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	2
Décharges	0
Equipements sportifs et de loisirs	0
Espaces verts urbains	0
Extraction de matériaux	0
Forêts et végétation arbustive en mutation	1
Forêts de conifères	1
Forêts de feuillus	1
Maquis et garrigues	2
Marais intérieurs et tourbières	1
Oliveraies	1
Pelouses et pâturages naturels	2
Plans d'eau	0
Prairies	2
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	0
Rizières	0
Roches nues	0
Terres arables hors périmètres d'irrigation	2
Tissu urbain continu	0
Tissu urbain discontinu	0
Végétation clairsemée	2
Vergers et petits fruits	1
Vignobles	1
Zone à forte densité de serres	2
Zones humides indifférenciées	1
Zones industrielles ou commerciales	0

Tableau 4 : Classification de l'occupation du sol en Crau (0 = impossible / 1 = Possible / 2 = Optimal)

- Il en va de même pour le **PLU généralisé** de la Crau qui a été créé pour calculer la perte de recharge de la nappe. Les zones « Agricoles » possèdent une notation de 2 car aucune modification du PLU ne serait à effectuer. En revanche, les zones « Urbaines » ou « A Urbaniser » sont égales à 0 car il serait quasi-impossible de « rendre de l'urbain à l'agriculture ». Mais pour ce qui est des zones « Naturelle », il a été décidé d'appliquer un critère de 0,5 car les démarches administratives sont complexes, mais les aménageurs seraient plus à même de transformer une zone classée « Naturelle » plutôt qu'une zone urbaine pour accueillir des prairies irriguées dans la mesure où certaines zones sont administrativement identifiées comme naturelle alors qu'elles ne présentent pas de valeur écologique particulière.

- Un critère binaire d'**appartenance aux zones protégées Natura 2000** a été ajouté à l'analyse. Il y a deux types de périmètre de protection Natura 2000 : La zone de protection spéciale (ZPS) et la Zone spéciale de conservation (ZSC) qui correspondent respectivement aux zones importantes pour la conservation des oiseaux protégés (directive Oiseaux), ainsi que des habitats naturels d'espèces animales ou végétales (directive Habitat).
- Il aurait été souhaitable d'inclure dans ces critères, le réseau de canaux secondaire (et folioles) mais ce dernier n'est pas encore été cartographié par la toutes des ASA. Il est tout de même possible d'introduire un critère qui s'en rapproche : **la proximité aux prairies irriguées déjà existantes**. En effet, le réseau d'irrigation est forcément déjà présent, mais il serait également plus simple d'exploiter de nouvelles prairies au milieu d'autres.

Il a été nécessaire de créer ce critère en mettant en place une zone tampon de 50 mètres autour de chaque prairie potentiel pour savoir si une prairie irriguée déjà existante est à proximité.

A l'aide de quelques sélections SQL, un comptage du nombre de prairies à proximité d'un polygone de prairie potentielle a été effectué. Après plusieurs essais, la méthode décrite en annexe (page 49) a été retenue.

2. Pondération des critères

Ces critères constituent les différents champs d'une couche dont les polygones ont été recoupés par chaque couche d'informations ajoutées. Il est donc possible d'interpréter tous ces critères en leurs attribuant une pondération selon les attentes de chaque type d'utilisateur.

Par exemple, si l'objectif est d'utiliser les friches et zones naturelles sans avoir à changer la vocation initiale de la parcelle, peu importe le PLU, voici une pondération est possible :

- 20% Occupation du sol
- 0% Modification du PLU
- 20% Proximité prairie irriguée
- 10% Zones protégées
- 50% Friches et végétation naturelle

Il est important d'effectuer quelques ajustements sur la couche pour éviter quelques erreurs flagrantes. Tout d'abord supprimer tous les polygones qui ont un critère d'occupation du sol (CRIGE 2006) égal à 0 puisque la mise en place de prairies irriguées y est impossible.

Les polygones correspondant aux terrains « unclassified » de la table d'occupation du sol (ASTUCE & TIC 2009) ont également été supprimés de l'analyse. Cela permet de mettre rapidement à jour l'occupation du sol en retirant les zones bâties entre 2006 et 2009.

Le zonage de la réserve naturelle des coussouls a été aussi soustrait à l'analyse puisque c'est un patrimoine qui est voué à être préservé sans exceptions. De même pour le foncier militaire qui semble difficile à investir.

Les polygones qui sont en dehors des périmètres d'irrigation des ASA ont été également supprimés puisque, même s'il est possible d'agrandir leur emprise de 7% par an, il semble plus pratique d'utiliser des terres déjà présentes dans ce périmètre. De plus, ces parcelles non irriguées (par canaux) n'apporteraient pas grand-chose à la nappe puisqu'elles se situent au Sud, en aval de la Crau.

Et enfin, tous les polygones correspondant à des prairies irriguées ont été retirés.

3. Résultats

Théoriquement (sans maîtrise du foncier), il y aurait **140 ha** de parcelles *optimales* et **1200 ha** de *bonnes* pour accueillir de nouvelles prairies selon cette pondération adaptée aux aménageurs dans l'optique de compenser les pertes.

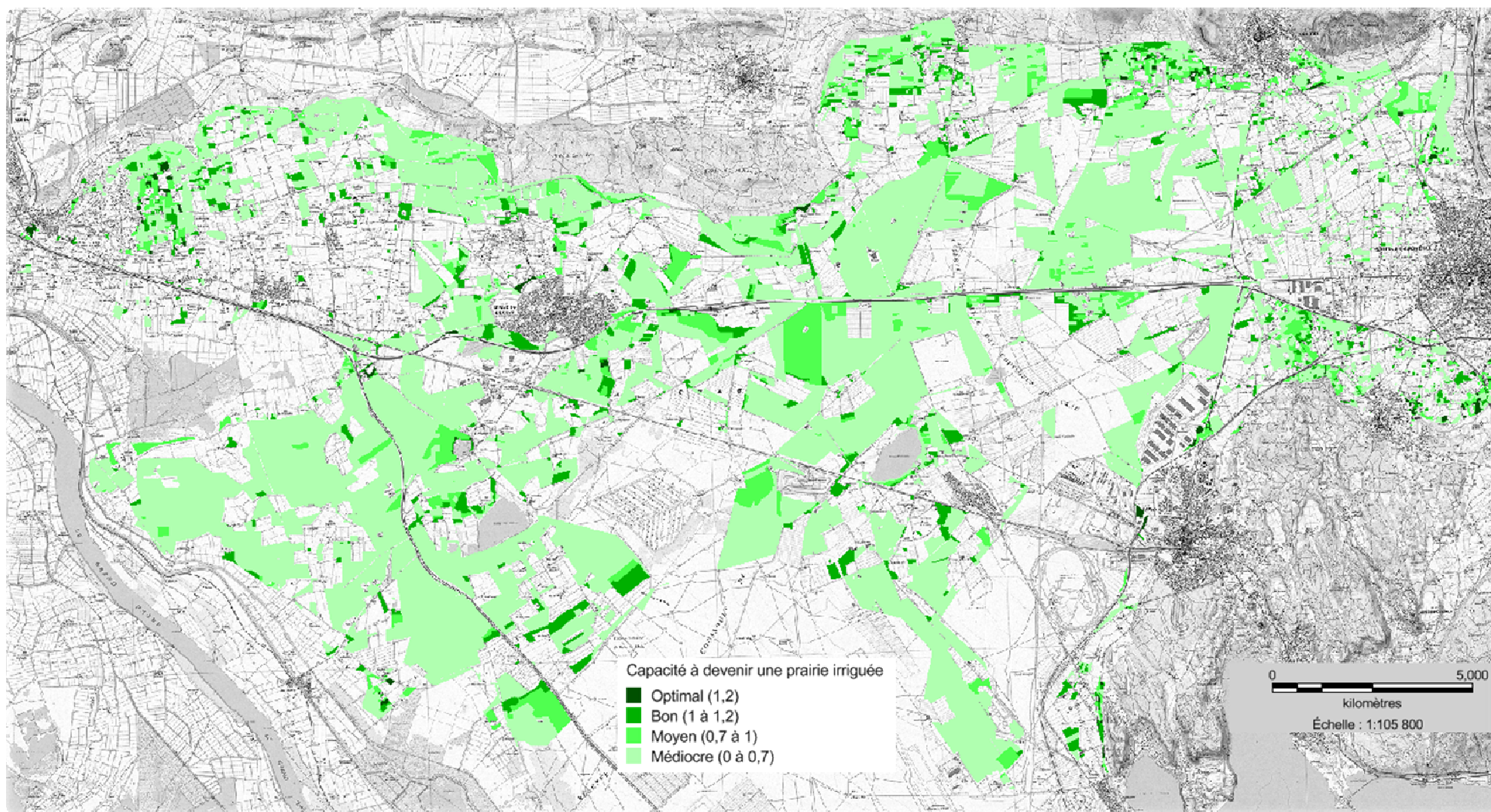


Figure 17 : Carte d'analyse du potentiel d'implantation de nouvelles prairies irriguées (Exemple de pondération pour un aménageur)

Afin de calibrer l'outil, des observations de terrain ont été faites à partir de la carte théorique. Globalement, l'outil fonctionne bien comme le montre les exemples de parcelles vacantes ci-dessous qui pourraient potentiellement être converties en prairies irriguées :



Figure 20 : Verger en friche sur la commune de Saint-Martin-de-Crau (entre Aureille et Eyguières)



Figure 19 : Oliviers à l'abandon entre Saint-Martin-de-Crau et Aureille (à l'Ouest de la parcelle précédente)



Figure 18 : Zone de végétation clairsemée à côté de l'Etang des Aulnes



Figure 22 : Zone de végétation clairsemée près du péage autoroutier de Saint-Martin-de-Crau

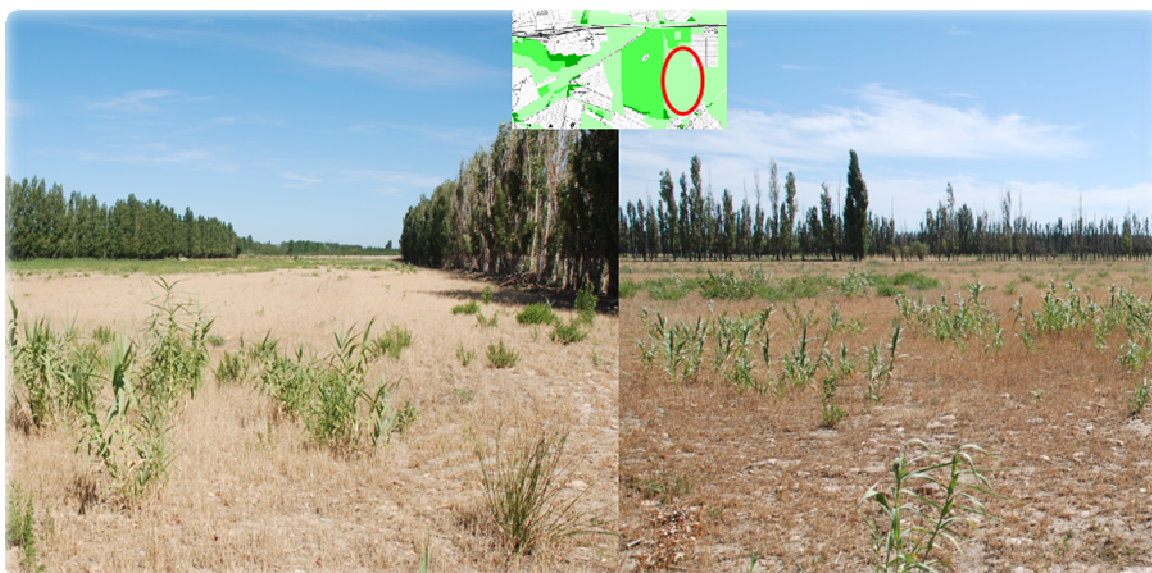


Figure 21 : Prairies en friches (à l'Est de la parcelle précédente)

Certaines friches de l'analyse s'avéraient être déjà réhabilitées en prairie ou vergers, ce biais est lié à la carte d'occupation des sols utilisée qui est déjà relativement ancienne (la plus récente disponible date de 2006). Il est donc difficile de calibrer, à proprement parler, cet outil tant que les données possèdent un décalage temporel.

4. Limites de la méthode

Ces cartes possèdent quelques lacunes qui proviennent principalement des données d'origine :

- La carte d'occupation des sols du CRIGE date de 2006. Celle-ci occupe une place importante dans la note finale des terrains, et malgré le fait d'avoir mis à jour les constructions qui ont eu lieu entre 2006 et 2009 à l'aide d'ASTUCE & TIC, il est possible que ce document fasse un peu défaut au résultat final. Nous pouvons l'observer notamment avec les parcelles en friches qui sont aujourd'hui, à nouveau cultivées, mais aussi des zones de végétation qui sont devenues des prairies irriguées entre temps.
- La cartographie des prairies irriguées, créée par ASTUCE & TIC, puis corrigée par le Comité de Foin de Crau et une deuxième fois avec l'ASCO des Arrosants de la Crau, possède forcément encore quelques lacunes au niveau des zones péri-urbaines qui ont pu faire disparaître ou apparaître des nouvelles prairies potentielles. Mais au vu du document, c'est un biais relativement mineur et cela demande juste une rapide vérification sur des orthophotos récentes au cas par cas.
- Une supposition a enfin été faite sur le réseau d'irrigation puisque ce dernier n'a pas encore été totalement numérisé par toutes les ASA. La présence de prairies existantes à proximité a été utilisée pour pallier ce problème, mais cela peut augmenter encore le biais qui est cité dans le paragraphe précédent.

5. Préconisations

Il faudra donc mettre à jour l'analyse avec la version 2009 de l'occupation du sol du CRIGE qui normalement devrait sortir d'ici la fin de l'année 2012 (il y a apparemment trois ans de décalage). Par la même occasion, il sera possible de comparer le travail de télédétection d'ASTUCE & TIC.

Dès que le Contrat de Canal Crau Sud-Alpilles (regroupement des ASAs) aura été mis en place, il sera également possible d'appliquer le vrai réseau d'irrigation à l'étude. Par la suite, il serait même possible de calculer rapidement les travaux d'aménagement de canaux qu'il faudrait effectuer pour irriguer telle ou telle prairie. Il sera donc possible d'introduire, directement dans l'analyse, l'idée « d'équivalent hectare » pour compenser la perte des prairies pas seulement par la création de nouvelles, mais aussi par la construction et rénovation de canaux d'irrigation, ou la réhabilitation d'anciennes prairies abandonnées.

Des économies d'eau vont être possibles avec la restauration du réseau de canaux prévu dans le cadre du Contrat de Canal. Cela permettrait de conserver une petite part de la réserve en eau agricole qui serait allouable aux nouvelles prairies irriguées par exemple. Il est tout de même fortement conseillé de préserver les droits d'eau des prairies vouées à disparaître pour que l'irrigation ne soit pas un facteur limitant si une démarche de compensation des prairies est mise en place prochainement.

Une éventualité de réserve foncière, qui a été écarté dès le début de l'étude, pourrait être envisageable. En effet, les terrains militaires autorisent des bergers à faire pâturer les moutons, ce qui leur évite de débroussailler. Il serait peut être possible d'autoriser des agriculteurs à y cultiver du foin de Crau. Toutefois, ces zones militaires sont principalement constituées de coussouls (donc un patrimoine à conserver). De plus, la culture du foin nécessitant plus de passage et de matériel, celle-ci pourrait avoir des conséquences sur la sécurité militaire.

Enfin, le résultat de cette étude sera au plus proche de la réalité lorsque la carte des prairies irriguées aura été totalement corrigée et vérifiée, en particulier autour des zones péri-urbaines très difficiles à vérifier sur orthophotos, et encore plus sur le terrain.

6. Etude des autres moyens de compensation pour la nappe phréatique

Cette partie est vouée à l'analyse des autres méthodes de recharge artificielle de l'aquifère qui existent.

Une étude sur ce sujet a été effectuée par le BRGM. Nommée « Réalimentation artificielle des aquifères en France – Une synthèse », elle fait le résumé de nombreux projets nationaux et internationaux de réalimentation artificielle de nappes phréatiques.

	Caractéristiques	Observations	Type d'eau utilisée
Bassins d'infiltration	Infiltration par le fond Bassins fonctionnant en alternance	Risque important de colmatage: opérations d'entretien nécessaires	Eau en provenance de cours d'eau. Effluents préalablement traités.
Tranchée d'infiltration	Tranchées remplies de matériaux sablo-graveleux. Injection par drains ou par la surface. Infiltration à travers les parois latérales.	Faible emprise au sol et coût d'entretien minime. Faible colmatage sauf exception Couverture des tranchées pour limiter le développement des algues, les apports éoliens et donc le colmatage.	Eaux superficielles
Barrage et diguette, infiltration dans le lit d'un cours d'eau	Rendement de l'infiltration accru en cherchant à gagner sur: la superficie de la plage d'infiltration la charge hydraulique la durée de l'infiltration	Utilisation essentiellement en pays arides ou semi-arides	Eau de cours d'eau
Epandage	Sur terres agricoles	Risque d'un lessivage excessif des terres pouvant entraîner une pollution par les engrais et pesticides	Eau de cours d'eau en période non déficitaire, hors période culturale.
Filtre à sable et tertre d'infiltration	Drains ou écoulement direct Bassins fonctionnant en alternance (alimentation et mise au repos)	Faisabilité économique dépendante de l'investissement mais aussi beaucoup des coûts de fonctionnement	Eaux usées Eau superficielle pour utilisation en eau potable

Tableau 5 : Avantages et inconvénients des techniques de recharge à faible profondeur (© BRGM)

En plus de ces techniques de recharge à faible profondeur, il existe également des ouvrages ASR (Stockage à reprise différée dans le temps) et ASRT (Stockage à reprise différée dans le temps et l'espace) qui injectent de l'eau directement dans l'aquifère par intermittence sur des puits de prélèvement, ou par des puits spécifiques.

Tous ces ouvrages sont particulièrement sensibles aux colmatages par des processus comme le développement bactérien, la croissance d'algues, le gonflement/dispersion des argiles, et surtout le dépôt de matières en suspension, qui constitue déjà un problème avec des eaux « normales ».

Les eaux turbides des canaux irrigants la Crau imposeront donc un curage régulier des massifs filtrants accompagnés de stations de traitement ou de bassins de décantation pour diminuer le taux de matière en suspension.

Les opérations ci-dessous seront également indispensables à réaliser avant tous travaux de mise en œuvre de la recharge artificielle :

- réalisation de piézomètres et étude de la granulométrie des alluvions
- pompages d'essai sur les puits avec suivi sur les puits et les piézomètres
- essais de perméabilité de type Lefranc sur les piézomètres (en zone saturée et en zone non saturée)
- suivi des fluctuations naturelles de la nappe sur les piézomètres
- caractéristiques physico-chimiques des eaux, eau de la nappe mais aussi eau infiltrées.

La nappe de la Crau possédant une géologie particulièrement hétérogène, ces opérations devront être répétées à chaque nouvel ouvrage.

Il est important de remarquer que ces ouvrages coûteux ont pour principaux objectifs de soutenir le niveau piézométrique pour compenser la perte de productivité d'ouvrages AEP, ou pour diluer une pollution et donc fournir suffisamment d'eau de qualité pour réussir à alimenter les habitants d'un territoire.

« La mise en œuvre d'un projet de recharge artificielle de nappe [...] doit être envisagé comme une solution alternative, tant technique qu'économique, aux solutions plus classiques » (BRGM).

Pour la plaine de la Crau, l'épandage est déjà pratiqué de façon traditionnelle depuis plusieurs siècles. Le foin de Crau, utilisant très peu d'additifs non-naturel, bénéficie d'une irrigation efficace pour la nappe. Il semble risqué de changer une méthode qui est déjà optimale et sans risques pour le milieu. D'autant plus que l'agriculture constitue un apport économique, patrimonial et environnemental, alors qu'un champ d'infiltration est source de dépenses de part l'entretien à opérer.

VIII. Conclusion

Cette étude a donc permis d'analyser les impacts de l'urbanisation sur la recharge en eau de la nappe de la Crau. Nous retiendrons quelques chiffres tels que les 500 hectares de prairies irriguées consommées dans les dix prochaines années correspondant à 9 millions de mètres cube d'eau en moins pour la nappe chaque année. La modélisation complète de l'évolution de la Crau permet d'observer 1800 hectares de prairies impactées, pour environ 36 millions de m³ d'eau en moins, si aucune mesure de compensation n'est prise d'ici 2025-2035. C'est plus que toute l'eau potable publique qui est pompé actuellement chaque année à l'échelle de toute la Crau.

Toutefois, sans prendre en compte la disponibilité foncière, il serait théoriquement possible de compenser toutes les pertes de prairies engendrées par les documents d'urbanisme. En effet, l'outil prospectif pour la réimplantation de prairies a permis de découvrir 140 ha optimaux et 1200 ha bons pour accueillir ces nouvelles prairies.

Pour aller plus loin dans cette étude d'impacts quantitatifs, il est indispensable de disposer d'un modèle hydrogéologique (plusieurs projet en cours) afin d'évaluer la répercussion que va avoir cette perte de recharge sur le niveau de la nappe et donc sur les puits ou forages, mais aussi l'impact sur les zones humides exutoires et l'avancée du biseau salé.

IX. Bibliographie

J-C. De MORDANT De MASSIAC, F. TROLARD, G. BOURRIE. *Anticipation Sécurisée des Territoires Urbanisés, des Campagnes et de leur Environnement fondée sur les nouvelles Technologies de l'Information et des Communications (ASTUCE & TIC)*. Rapport final, 1484 pages. Décembre 2011.

C. GUERIN - SYMCRAU. *Diagnostic qualitatif / quantitatif et analyse de l'évolution des risques sur la nappe de la Crau*. Rapports qualitatif et quantitatif, 270 pages. Décembre 2009.

N. RAMPNOUX. *Appui à la police des eaux souterraines. Evaluation de l'impact de l'infiltration dans la nappe de La Crau des eaux traitées de la station de Rassuen (Bouches-du-Rhône)*. BRGM, 20 pages. Octobre 1998.

C. BALLIHAUT. *Caractérisation de la pratique de l'irrigation en plaine de la Crau : de la parcelle à l'échelle de la plaine*. Rapport de stage INRA, 39 pages. 2009.

A. WUILLEUMIER, J.J. SEGUIN. *Réalimentation artificielle des aquifères en France. Une synthèse*. BRGM, 119 pages. Octobre 2008.

Ainsi que les documents d'urbanismes (SCOT, POS, PLU, PLH, PADD et autres notes) publiques ou non de chacune des communes ou intercommunalités étudiée.

Données cartographiques :

- Base de données du projet ASTUCE & TIC
 - o Bilan hydrique à l'échelle parcellaire
- Communauté d'Agglomération Arles Crau Camargue Montagnette
 - o « DGFIP - Cadastre - mise à jour : 2011 » sur toute représentation des données cadastrales © ACCM
 - o « Ville de Saint Martin de Crau » sur toute représentation issue du PLU et du POS de Saint Martin de Crau © ACCM
 - o « Ville d'Arles » sur toute représentation issue du POS d'Arles © ACCM
 - o Zonage du foncier militaire © ACCM
- AgglopoLe Provence
 - o Zonage du PLU de Salon de Provence (approuvé le 16 Mars 2011) ©AGGLOPOLE-Provence
 - o Zonage du POS de Lamanon (approuvé le 28 Juin 1991) ©AGGLOPOLE-Provence
- Syndicat d'agglomération nouvelle Ouest Provence
 - o Zonage PLU Miramas © SAN-OP
 - o Zonage PLU Istres © SAN-OP
 - o Zonage PLU Grans POS Fos-sur-mer © SAN-OP
 - o Zonage foncier militaire © SAN-OP
- Réserve Naturelle des Coussouls
 - o Périmètre de la réserve

X. Annexes

Coupes	Périodes	Rendements espéré T.M.S
1 ^{ère} coupe	Mai	3 – 4
2 ^{ème} coupe	25 juin – 20 juillet	2 – 3
3 ^{ème} coupe	Août – Septembre	1,5 – 2
4 ^{ème} coupe	Octobre – Fin Février	1,5 – 2
Total		8 – 11

Calendrier de coupes du foin de Crau

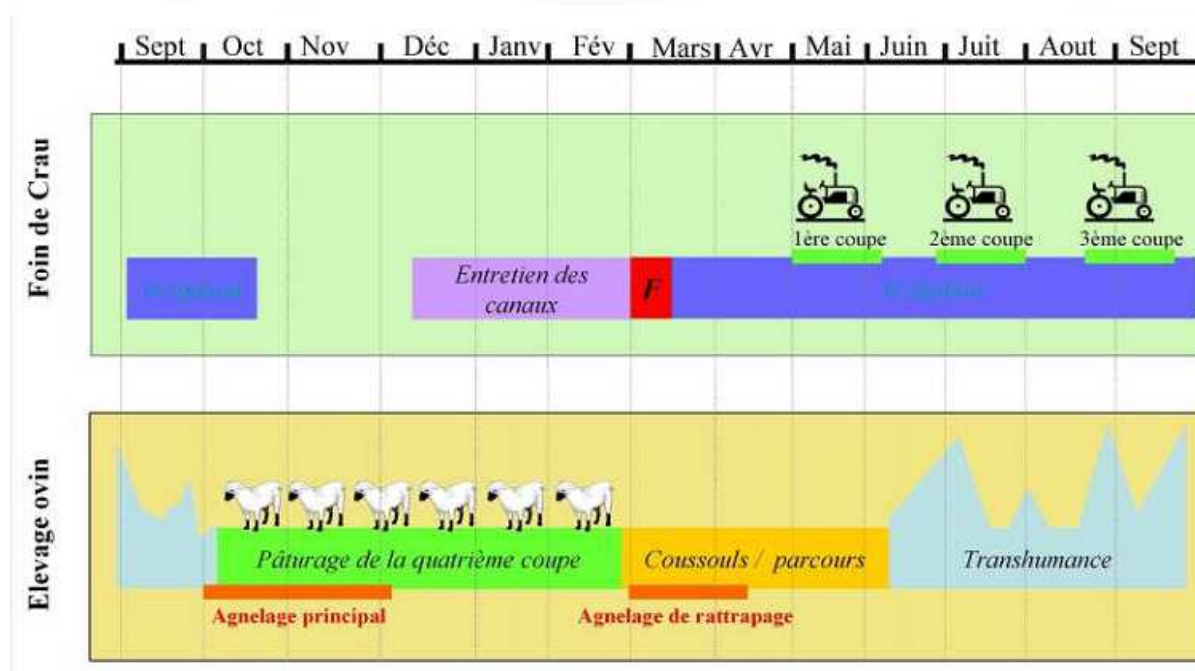


Figure 23 : Calendrier de pâturage des troupeaux transhumants cravens (Comité de foin de Crau)

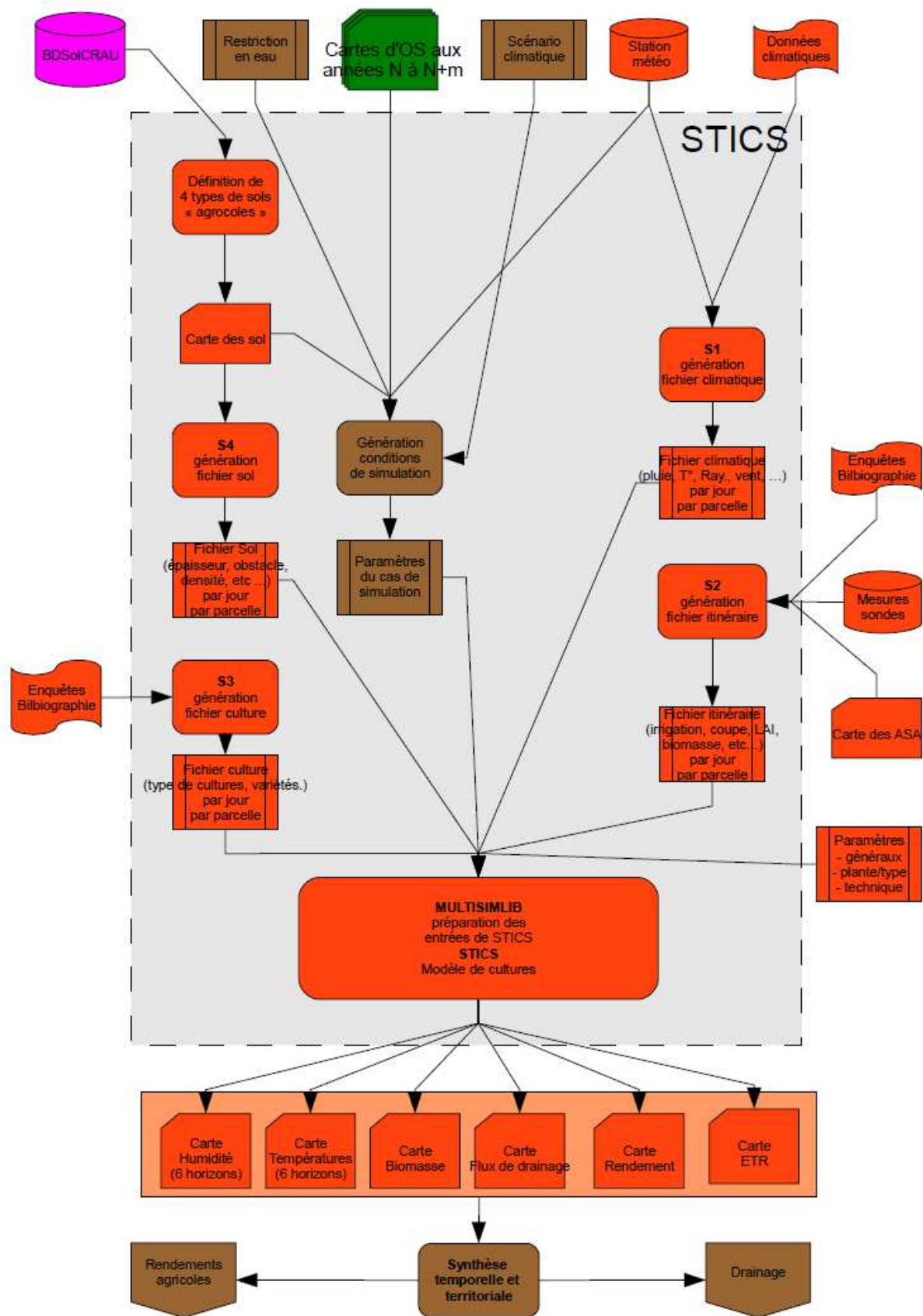


Figure 24 : Diagramme de fonctionnement du modèle STICS (©ASTUCE & TIC)

Méthode de zones tampons pour compter le nombre de prairies à proximité des polygones analysés :

Tout d'abord, il faut créer des champs ID dans chacune des couches *Table_Analyse* (polygones des prairies potentielles) et *Table_Prairies* (polygones des prairies déjà existantes). En appliquant la fonction *ROWID* à ces deux champs *ID*, chaque polygone acquiert un identifiant unique.

Ensuite en appliquant la formule suivante, il est possible de créer une table qui enregistre tous les polygones de prairies potentielles qui recoupe une zone tampon de 50 mètres autour de chaque polygone de prairies existantes :

```
SELECT * FROM Table_Analyse WHERE obj INTERSECTS ANY (SELECT BUFFER (obj, 12, 0.05, "km") FROM Table_Prairies) into Temp1
```

Remarque : Utiliser la fonction INTERSECTS sans zone tampon défavorisait trop les polygones qui n'étaient pas directement en contact, et utiliser WITHIN impliquait que le centre de gravité des polygones d'analyse devait être incluse dans la zone tampon, la taille des parcelles prenait donc bien trop d'importance dans cette méthode.

Le résultat de la requête SQL précédente était une couche avec la correspondance entre les ID des polygones qui se recoupaient à travers chaque zone tampon d'une prairie existante (donc beaucoup de doublons). En utilisant la fonction *COUNT*, cela a permis d'obtenir un compte les ID similaires.

```
SELECT ID, COUNT(*) FROM Temp1 GROUP BY ID ORDER BY COUNT INTO Temp2
```

Enfin, une mise à jour de colonnes a permis de reporter le résultat de la couche Temp2 dans la couche d'analyse d'origine en effectuant une jointure entre des champs *ID* des deux couches. Le résultat est donc un champ qui servira de critère de proximité aux prairies déjà existantes.

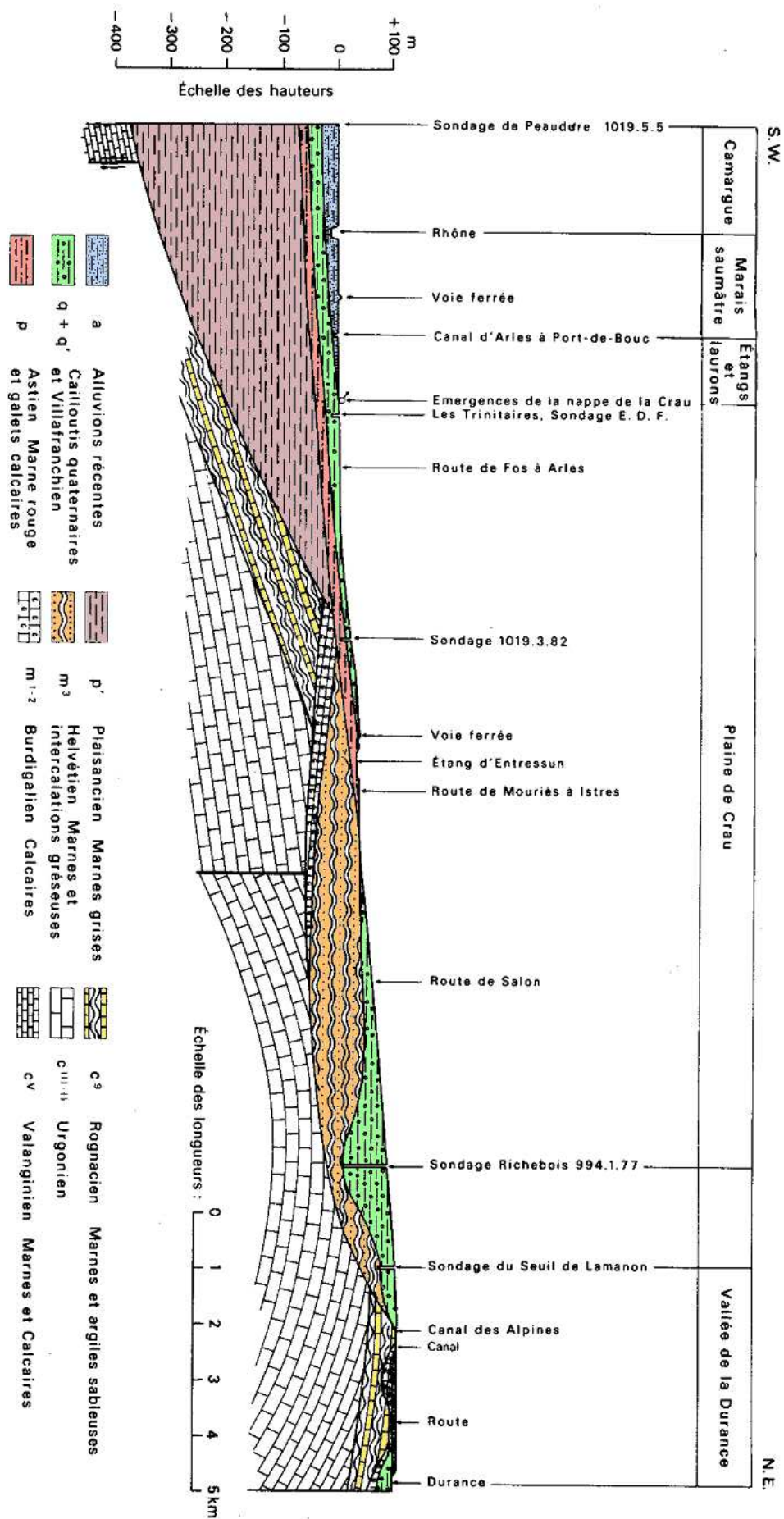


Figure 25 : Coupe géologique colorisée extraite de la notice de la carte géologique du BRGM