

Ambassade de France aux Etats-Unis
MISSION POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE
CONSULAT GENERAL DE FRANCE A HOUSTON

**Préserver l'eau dans l'agriculture texane :
contexte, enjeux et solutions.**

Laëtitia Gerbe
Pierre Dauchez
Georges Golla

RAPPORT D'ETUDE DE

Laëtitia Gerbe
Elève Ingénieur à l'Institut National Agronomique
De Paris-Grignon

SOUS LA RESPONSABILITE DE

Pierre Dauchez¹
Attaché pour la Science et la Technologie
Consulat Général de France à Houston

Georges Golla
Attaché adjoint pour la Science et la Technologie
Consulat Général de France à Houston

Septembre 2004

¹ Consulat Général de France, 777 Post Oak Boulevard, Suite 600, Houston, Texas 77056-3203, USA
Tél : 713-985-3262, Fax : 713-572-2914, E-mail : attache.science@consulfrance-houston.org

RESUME

Le Texas, deuxième état des Etats-Unis en superficie et en population, est aujourd'hui confronté à une situation difficile. Son agriculture performante est à l'origine d'une pollution importante des eaux de surface, tandis que l'utilisation excessive des ressources souterraines commence à se faire sentir dans tout l'Etat. Après avoir présenté les caractéristiques de l'agriculture texane et de la situation actuelle de la ressource en eau, cette étude s'attache à dégager les grandes problématiques auxquelles doivent faire face l'eau et l'activité agricole dans cette région des Etats-Unis. L'accent est ensuite mis sur les programmes mis en oeuvre par les différents acteurs impliqués ainsi que sur les technologies développées pour remédier à un état des lieux peu réjouissant à ce jour. Il apparaît au fil de cette étude que des alternatives seraient prêtes à être plus largement employées mais aujourd'hui, il ressort un certain manque de volonté et de conscience collective pour protéger la ressource précieuse que représente l'eau. Bien plus qu'un problème technique, préserver l'eau dans l'agriculture texane est devenu un vrai problème de société.

Afin de compléter ce document, une brève comparaison est ensuite réalisée avec les recherches du nord du Midwest, région agricole des Etats-Unis par excellence.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	4
I . Présentation du contexte texan	5
1°/ Une agriculture très présente, géographiquement et économiquement.....	5
a) Données générales	5
b) Localisation approximative des productions	5
c) Données économiques	6
2°/ Une ressource en eau potentiellement importante.....	7
a) Eaux de surface.....	7
b) Des eaux souterraines particulièrement abondantes.....	8
c) Précipitations et alimentation des nappes phréatiques et des cours d'eau.....	9
3°/ Une multitude d'acteurs concernés	10
a) Au niveau fédéral.....	10
b) Au niveau de l'état du Texas	10
c) Au niveau local.....	11
d) Une législation originale au Texas	12
4°/ Conclusion.....	13
II . Problématiques et enjeux pour l'eau et l'agriculture du Texas	13
1°/ En ce qui concerne la quantité de la ressource	13
a) L'irrigation : la plus grande consommatrice d'eau du Texas	13
b) L'élevage n'affecte que de loin la quantité d'eau utilisée	15
c) Des enjeux majeurs pour l'avenir	15
2°/ En ce qui concerne la qualité de la ressource.....	16
a) Causes et sources de pollution des eaux de surface au Texas	17
b) Les eaux souterraines : moins polluées mais également moins protégées	19
c) Une nécessité d'agir en coordination.....	20
3°/ Conclusion.....	20

III . Vers une préservation et une utilisation durable de la ressource en eau du Texas	21
1°/ Acteurs de la recherche liée à l'eau dans le domaine agricole au Texas.....	21
2°/ Des efforts certains pour une utilisation de l'eau plus efficace.....	21
a) Etude des besoins réels des plantes cultivées	21
b) Systèmes d'irrigation efficaces.....	22
3°/ De nombreuses actions en vue de diminuer la pollution.....	25
a) Programmes des différentes agences concernant les parcelles cultivées.....	25
b) Une application de précision pour les intrants grâce à la chemigation	26
c) Actions au niveau des élevages hors-sol	27
4°/ Deux initiatives de coopération intéressantes.....	29
a) Lake Aquilla	29
b) Rio Grande Basin Initiative	30
5°/ Autres recherches	30
a) Utilisation de photos aériennes infra-rouges pour évaluer la croissance des cultures.....	30
b) Plantes tolérantes à la sécheresse	31
c) Dessalement.....	32
d) Collecte et stockage de l'eau de pluie	32
6°/ Conclusion.....	32
IV . Comparaison avec le cas du nord du Midwest	33
CONCLUSION GENERALE.....	36
Remerciements	37
Bibliographie	38
Sites internet	39
Annexes	

INTRODUCTION GENERALE

A l'heure où le développement durable devient un concept de plus en plus répandu, les ressources en eau sont devenues un véritable enjeu pour la planète. Selon les prévisions des Nations-Unies, la population mondiale devrait passer de 6,1 milliards d'individus en 2000 à 8,9 milliards en 2050. Or, à l'échelle mondiale, l'apport d'eau et l'emploi raisonné de cet élément sont un moyen déterminant d'accroître la productivité de l'agriculture et de garantir une certaine production, permettant ainsi de nourrir la population.

A la fin du vingtième siècle, l'agriculture était à l'origine de 70% en moyenne de l'ensemble des prélèvements d'eau effectués dans le monde et la FAO (*Food and Agriculture Organisation*) estime aujourd'hui que les volumes utilisés à des fins d'irrigation augmenteront d'environ 14% d'ici 2030, aggravant ainsi les pénuries d'eau au niveau local. Une gestion de la quantité d'eau utilisée est donc nécessaire, notamment en recherchant des systèmes d'irrigation plus efficaces.

D'autre part, le lien entre agriculture et qualité des eaux (de surface ou souterraines) est reconnu depuis longtemps. On ne peut envisager une agriculture plus durable sans considérer l'utilisation des intrants agricoles qui peuvent contaminer l'eau lors de leur épandage, de leur entreposage ou de leur élimination.

Aux Etats-Unis, peut-être encore plus qu'ailleurs, la ressource en eau a été surexploitée et polluée, notamment par l'agriculture. Le Texas est aujourd'hui la onzième puissance économique mondiale et le deuxième Etat du pays en surface et en population. Et, bien qu'il soit réputé pour la présence de pétrole, l'eau y est devenue la ressource naturelle la plus précieuse. En utilisant environ 110 000 litres d'eau par jour en 2000, le Texas est en effet le second état consommateur d'eau aux Etats-Unis, derrière la Californie (plus de 190 000 litres d'eau par jour). Et, bien que de l'eau gise sous 81% des terres de l'état, 20% des demandes en eau pour l'irrigation ne pourraient être satisfaites par les ressources actuelles si une sécheresse avait lieu aujourd'hui. D'autre part, la population du Texas devrait doubler d'ici 2050, contribuant ainsi à accroître encore la consommation. Il est donc de plus en plus urgent d'établir une gestion raisonnée et à long terme de l'eau de l'Etat. L'agriculture consommant 65% des ressources utilisées chaque année au Texas, il est évident que ce secteur est l'un des premiers concernés, tant sur la quantité que sur la qualité de l'eau disponible.

Cette étude s'articule en quatre points. Dans un premier temps, je m'attacherai à donner une vision d'ensemble du contexte de l'utilisation de l'eau dans le domaine agricole au Texas : quelles sont les caractéristiques de cette agriculture ? De quelles ressources en eau dispose l'état du Texas ? Comment cette eau est-elle gérée au niveau législatif ? ... sont autant de questions auxquelles il faut répondre afin de mieux comprendre la situation de cette région des Etats-Unis.

Les grandes problématiques auxquelles doivent faire face l'eau et l'agriculture texanes seront ensuite décrites dans une deuxième partie, tant au niveau des influences de l'agriculture sur la quantité d'eau disponible que sur sa qualité. Ceci amène à dresser un bilan des enjeux futurs et à prendre la mesure du chemin qu'il reste à parcourir en vue d'une gestion durable de la ressource.

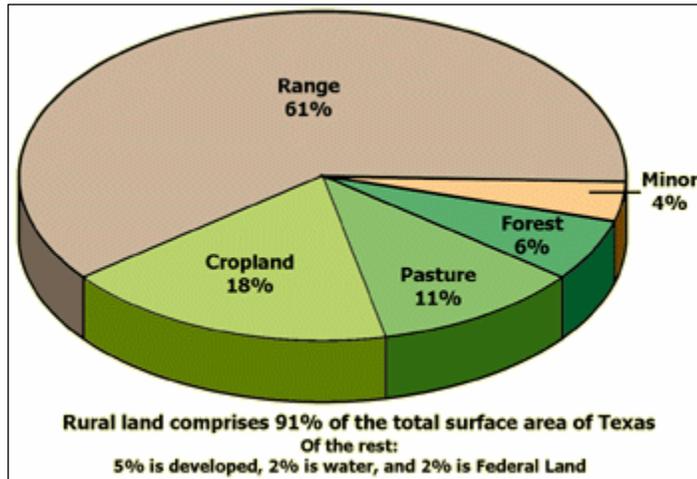
La troisième partie a pour objectif de présenter les principaux programmes d'action des agences ainsi que différentes alternatives envisageables. Les grandes universités "agricoles" américaines telles que *UC Davis* en Californie, *UI Urbana-Champaign* dans l'Illinois et *Texas A&M* au Texas présentent de nombreux programmes de recherche dans ce domaine. C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, il sera souvent fait référence aux activités du *Texas A&M University System* plutôt qu'à d'autres universités texanes.

Cependant, afin d'avoir un point de vue différent, il a semblé intéressant de prendre l'exemple du nord du Midwest (Illinois et Wisconsin) et de voir comment sont orientées leurs recherches universitaires. Tout comme au Texas, nous avons ici une grande région agricole (le Wisconsin est le premier état pour le nombre de vaches laitières tandis que l'Illinois est premier pour le soja et second pour le maïs) mais nous verrons que leurs préoccupations sont cependant différentes.

I. Présentation du contexte texan

1°/ Une agriculture très présente, géographiquement et économiquement

a) Données générales



Utilisation des terres rurales au Texas

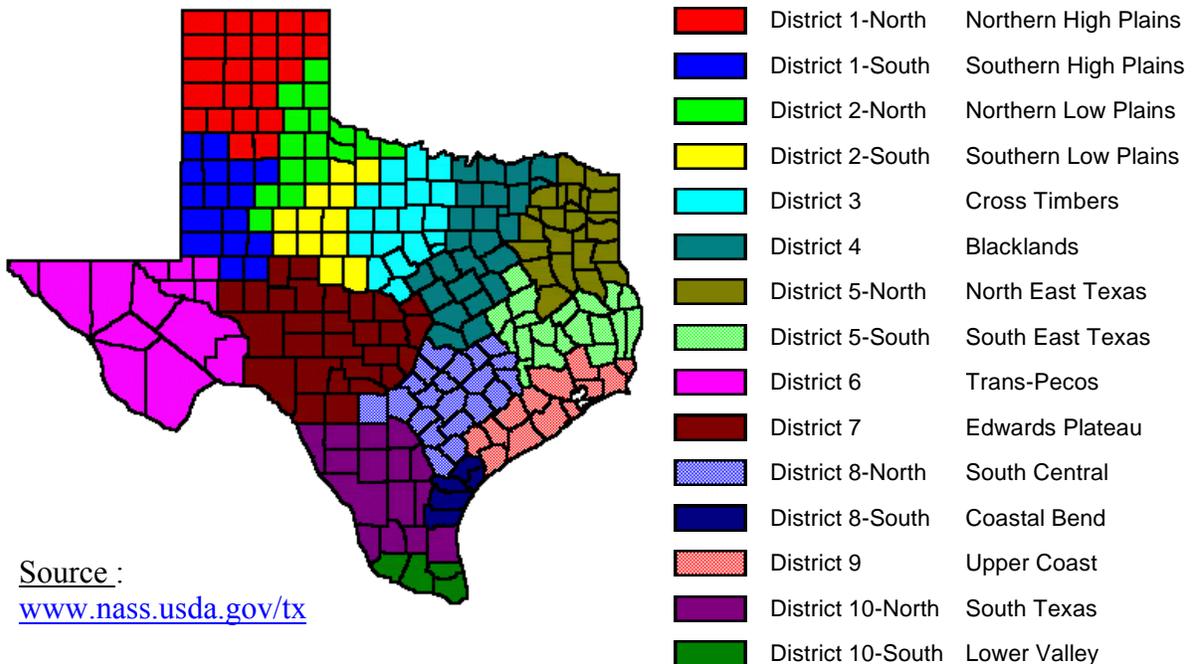
Dans l'état du Texas, les territoires "ruraux" représentent environ 91% de la surface totale de l'état. Sur ces 91%, 77% sont en production agricole : ces territoires se décomposent notamment en champs (61%), en terres de grandes cultures (18%), en prairies (11%), en forêts (6%) comme le montre le graphique ci-contre.

Source : USDA (US Department of Agriculture), NRCS (Natural Resources Conservation Service), 1997

b) Localisation approximative des productions

Le Texas est un état plus grand que la France avec une superficie de plus de 695600km². Comme vu ci-dessus, les terres à vocation agricole en occupent une très grande partie. Le bureau national de statistiques agricoles divise le Texas en 15 grands districts qui permettent de mieux identifier les différentes régions :

Les districts agricoles du Texas



Source :
www.nass.usda.gov/tx

D'après les statistiques établies par le Texas, on peut ensuite définir des dominantes pour l'agriculture de chaque district :

- *districts 1-N et 1-S* : cultures irriguées (coton, maïs, blé), sorgho et grands élevages hors-sol
- *districts 3, 4, 8-N et 9* : grandes cultures (maïs, sorgho, blé...) et grands élevages laitiers intensifs hors-sol dans les districts 3 et 4
- *districts 6, 7, 8-S et 10-N et 10-S* : cultures maraîchères et fruitières dans la vallée du *Rio Grande*, élevage extensif sinon.
- *districts 2-N, 2-S* : grandes cultures (blé, soja, maïs)
- *districts 5-N et 5-S* : élevage extensif

L'assolement du Texas est donné ci-dessous à titre indicatif (chiffres de juin 2003) :

- Blé d'hiver : 2,7 millions d'hectares (soit près de 4% de la surface du Texas)
- Coton : 2,3 millions d'hectares
- Foin : 2,1 millions d'hectares moissonnés
- Sorgho : 1,2 millions d'hectares
- Maïs : 0,8 millions d'hectares
- Arachide : 105 220 hectares
- Soja : 93 080 hectares
- Riz : 73 250 hectares
- Cultures légumières : 46 540 hectares
- Tournesol : 17 000 hectares
- Agrumes : 10 970 hectares (dont 3480 hectares d'oranges et 7490 hectares de pamplemousses)
- Haricots secs : 10 930 hectares

c) Données économiques

L'économie agricole texane arrive seconde derrière la Californie pour l'ensemble des Etats-Unis. Le Texas est par ailleurs le premier état dans les secteurs suivants (*chiffres de 2001*) :

Nombre de fermes et de ranchs	227000
Surface occupée par les fermes et les ranchs	53 millions d'hectares
Coton	2,3 millions d'hectares
Cheptel bovin	13,6 millions d'animaux
Cheptel caprin	1,3 millions d'animaux
Cheptel ovin	1,1 millions d'animaux

Source : Blair Fannin, Lifescapes, Texas A&M University System Agriculture Program, Printemps 2003

Le Texas est ainsi le premier état pour l'élevage en général, contribuant pour près de 11% à la production du pays. L'élevage et les produits dérivés étaient évalués à environ 8,4 milliards de dollars en 2001, soit 65% de la valeur totale des opérations agricoles du Texas.

En 2001, les recettes totales brutes pour l'élevage et les grandes cultures dépassaient 13 milliards de dollars soit presque 2% du produit brut du Texas bien que ni la vente d'équipements agricoles (machines, intrants...), ni les produits issus de l'industrie agroalimentaire ne soient comptabilisés dans le secteur agricole, ce qui augmenterait encore le total des recettes. Sur les 13 milliards dégagés, 50%

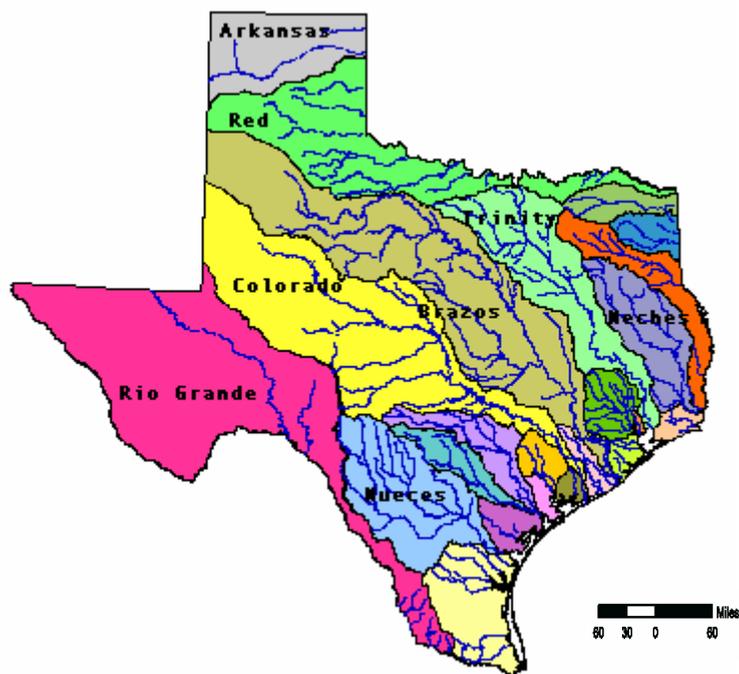
provenaient de l'élevage bovin viande, 9% des cultures sous serres, 9,6% de l'élevage avicole (viande et œufs) et 7% du coton. Venaient ensuite la production laitière, le maïs et le blé.

2°/ Une ressource en eau potentiellement importante

De nombreuses projections montrent que la totalité du Texas a globalement assez de ressources en eau pour satisfaire les besoins de chacun mais chaque région possède des ressources très différentes et doit faire face à des besoins et des problèmes divers.

a) Eaux de surface

Le Texas possède tout d'abord un très grand réseau hydrographique avec plus de 307 686 km de fleuves et rivières (contre 270 000 km en France par exemple) et 23 bassins versants. Cependant, seuls 21% des cours d'eau sont considérés comme pérennes, c'est-à-dire ayant de l'eau tout au long de l'année. D'autre part, l'état est riche de quelques 2,6 millions d'hectares de zones humides dans les terres et de 0,7 millions d'hectares de zones humides côtières. Il existe ensuite plus de 1,2 millions d'hectares de réservoirs et de lacs dont uniquement un seul est naturel, les 6 700 autres existants étant complètement artificiels. Seuls 211 réservoirs majeurs ont une capacité de stockage de plus de 5000 acre-feet soit environ 6,2 millions de m³ d'eau. Le plan de gestion de l'eau du Texas *Water for Texas – 2002* (voir bibliographie [1]) prévoit la construction de 8 nouveaux réservoirs majeurs durant les 50 prochaines années, afin d'accroître la disponibilité en eaux de surface. Aujourd'hui, 18,4 milliards de m³ d'eau par an sont disponibles mais seulement 10,7 milliards sont accessibles en raison du manque d'infrastructures et de permis d'utilisation. De nombreux réservoirs sont en effet situés loin des villes et il n'existe pas pour l'instant de pipelines pour déplacer l'eau. Actuellement, 97% des eaux de surface utilisées proviennent de 190 réservoirs.



Les grands bassins versants du Texas

Le plus important des cours d'eau est bien sûr le *Rio Grande* avec plus de 3050 km (deuxième fleuve du pays après le Mississippi), secondé par la *Red River* qui constitue la frontière entre le Texas et l'Oklahoma.

On constate ainsi que le Texas souffre d'une répartition très inégale de la ressource en eau : alors que l'est de l'état paraît plutôt bien doté, l'ouest manque cruellement d'eau, ceci étant encore aggravé par le développement d'agglomérations dans les zones arides

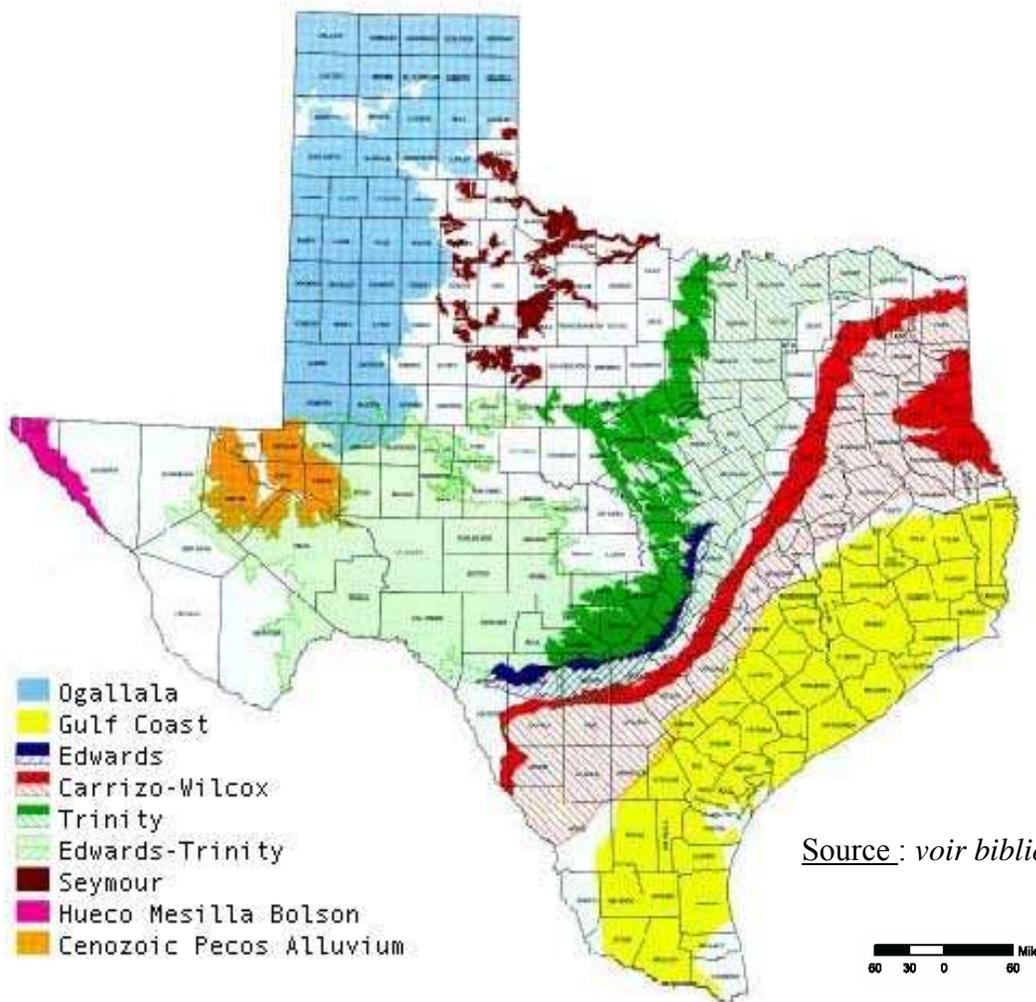
Source : *Texas Parks and Wildlife Department*

b) Des eaux souterraines particulièrement abondantes

Le *Texas Water Development Board* (TWDB) a identifié neuf aquifères majeurs (représentés sur la carte ci-dessous), ainsi que vingt aquifères mineurs. Ceci représente environ 4500 milliards de m³ d'eau (contre 2000 milliards de m³ en France) dont seulement 10% sont accessibles grâce aux technologies et aux infrastructures actuelles. Les aquifères majeurs sont ceux qui proposent une offre importante en eau sur un vaste territoire : ils représentent environ 95% de la ressource souterraine en eau. A l'inverse, les aquifères mineurs proposent une offre limitée sur un vaste territoire ou une offre assez abondante mais sur une surface réduite.

Le plus grand aquifère est *Ogallala*. Il s'étend sur 450 000 km² sous le Dakota du Sud, le Wyoming, le Nebraska, le Colorado, le Kansas, l'Oklahoma, le Nouveau-Mexique et le Texas (soit presque un quart du pays) et constitue la plus grande réserve d'eau douce des Etats-Unis avec plus de 4000 milliards de tonnes d'eau. Il y a plus d'eau pompée dans cet aquifère que dans tous les autres aquifères du Texas réunis mais le problème provient du fait qu'il ne se recharge que très difficilement, en partie à cause de pluies minimales mais aussi à cause d'une couche de roche épaisse et imperméable en surface.

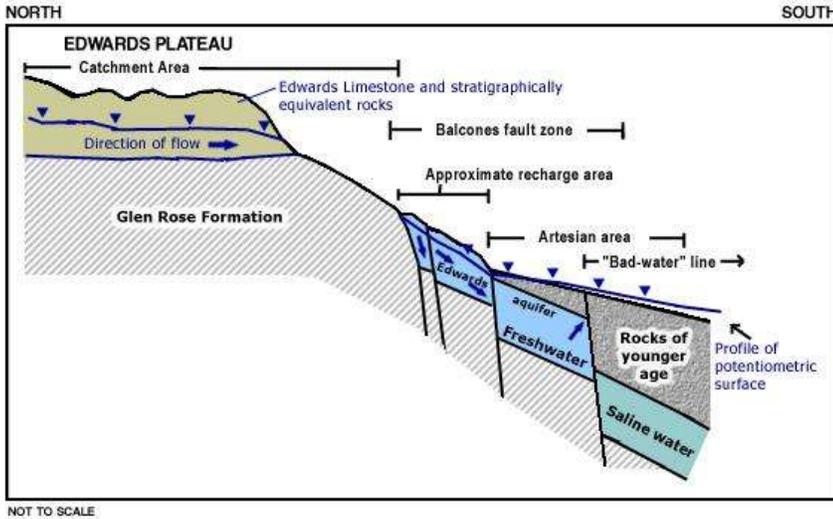
Aquifères majeurs au Texas



Source : voir bibliographie [1]

Les zones hachurées sur la carte précédente correspondent aux parties d'aquifères pour lesquelles la roche contenant l'eau est située sous d'autres couches de roches. A l'inverse, les zones pleines correspondent aux parties d'aquifère pour lesquelles la roche contenant l'eau affleure.

Exemple de l'aquifère Edwards



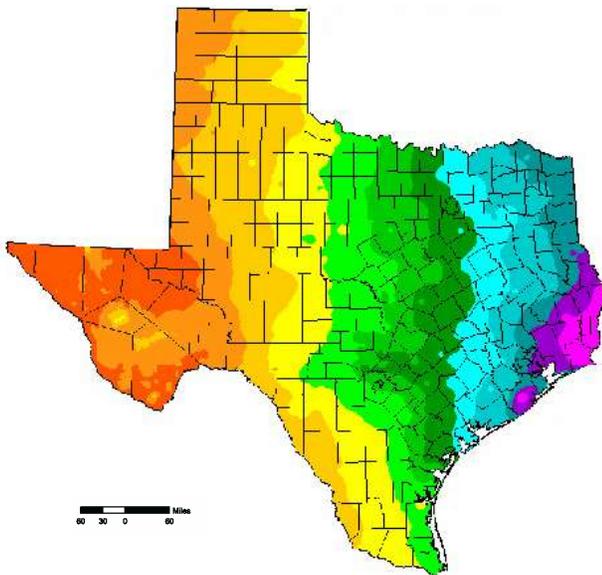
Ainsi, les zones hachurées correspondent environ à la zone de recharge de l'aquifère. A l'inverse, les zones pleines correspondent à une partie de l'aquifère située sous une autre couche de roche et donc incapable de se recharger.

Au niveau de l'aquifère Edwards, par exemple, on voit bien que l'aire de recharge est minoritaire sur la surface totale ce qui conduit à un épuisement rapide de la ressource.

Source : www.saws.org/our_water/aquifer/map.html

c) Précipitations et alimentation des nappes phréatiques et des cours d'eau

Précipitations annuelles au Texas



Alors que la pluviosité à l'est de l'Etat permet de recharger les aquifères et d'alimenter les cours d'eau, l'ouest est cruellement déficitaire.

Legend (in inches avec 1 inch = 2,54 cm)

Under 14	34 to 38
14 to 18	38 to 42
18 to 22	42 to 46
22 to 26	46 to 50
26 to 30	50 to 54
30 to 34	Above 54

Source : www.rra.dst.tx.us/precipitation/Texas_Average_Annual_Precipitation.cfm

3°/ Une multitude d'acteurs concernés

De nombreux acteurs interviennent dans le domaine de l'eau aux Etats-Unis (*cf. rapport d'étude de C. Ottombre, bibliographie [2]*). Nous ne retiendrons donc ici que les plus importants d'une part, et ayant un rôle au niveau de l'agriculture d'autre part.

a) Au niveau fédéral

Le rôle des acteurs fédéraux (Président des Etats-Unis et Congrès) consiste essentiellement à voter les textes législatifs et les budgets alloués. La gestion de l'eau au quotidien est quant à elle assurée par les Etats et les systèmes locaux de distribution d'eau (*cf. paragraphe suivant*).

Il n'existe pas d'organisme fédéral unique en matière de politique de l'eau. De nombreuses agences se partagent la responsabilité, la coordination entre elles n'étant la plupart du temps qu'informelle. Les principales agences impliquées sont :

- l'**EPA** (*Environmental Protection Agency*) : cette agence est l'acteur majeur en matière d'environnement aux Etats-Unis. Elle emploie 18000 personnes et est impliquée dans un grand nombre de programmes de protection et de gestion de la ressource. Les programmes concernant l'eau sont fondés autour du **Clean Water Act** (1972) et du **Safe Drinking Water Act** (1974) qui sont les deux piliers juridiques en matière de qualité de l'eau. Le **Clean Water Act** contrôle la qualité de l'eau en général et vise à réduire le versement direct ainsi que le ruissellement de polluants dans les cours d'eau. Le **Safe Drinking Water Act** ne concerne que l'eau potable et donne autorité à l'EPA pour en définir les standards de qualité.
- le **Corps des ingénieurs de l'armée américaine** (*US Army corps of engineers*) : il dépend du Ministère de la Défense (*US Department of Defense*) et constitue la plus grande agence de gestion et de développement des ressources en eau.
- le **NRCS** (*Natural Resources Conservation Service*) : il dépend du Ministère de l'Agriculture (*US Department of Agriculture*)
- l'**USGS** (*US Geological Survey*) : ce bureau fournit au gouvernement les informations géologiques et hydrologiques nécessaires afin de mieux gérer la ressource en eau.
- la **FEMA** (*Federal Emergency Management Agency*) : cette agence dépend du Ministère de la Sécurité Intérieure (*US Department of Homeland Security*) et a pour but de gérer les catastrophes naturelles, notamment les inondations. En matière de sécheresse, il n'existe pas d'agence nommément responsable.
- le **Bureau of Reclamation** dépend du Ministère de l'Intérieur et est responsable de l'alimentation en eau des 17 états de l'ouest (dont fait partie le Texas), qui sont généralement en zones arides. Il a également une volonté de promouvoir un usage plus efficace et respectueux de l'environnement des ressources en eau dans ces états.

b) Au niveau de l'état du Texas

A l'image de l'échelon fédéral, le gouvernement du Texas et la Chambre des Représentants du Texas définissent seulement les grandes lignes de la politique de l'eau. Ce sont les agences suivantes qui ont un rôle majeur :

- la **TCEQ** (*Texas Commission on Environmental Quality*) : c'est la principale agence environnementale de l'Etat avec près de 3000 emplois au Texas. Son action vise à protéger la qualité de l'eau, de l'air et à gérer les déchets. Elle est ainsi chargée de faire appliquer les standards de qualité de l'eau définis par l'EPA *via* la discussion et la persuasion la plupart du temps, car elle n'a que peu de moyens de contrainte.
- le **TWDB** (*Texas Water Development Board*) : deuxième acteur majeur, il vise plutôt à gérer la quantité de la ressource afin qu'il y ait suffisamment d'eau disponible pour assurer le développement économique de tout l'Etat. Il est chargé d'élaborer un plan d'utilisation des ressources en eau pour le Texas, et ceci tous les quatre ans (le dernier en date étant *Water for Texas - 2002*).
- le **TPWD** (*Texas Parks and Wildlife Department*) : il participe à la distribution des permis d'utilisation de l'eau, ceux-ci étant accordés en fonction de leurs effets sur la faune et la flore.
- le **TSSWCB** (*Texas State Soil and Water Conservation Board*) : ce bureau est essentiellement impliqué dans la gestion des sources de pollution diffuses, en particulier en agriculture et en sylviculture.

Remarque : Les agences fédérales citées au paragraphe précédent ont d'autre part une agence au niveau du Texas chargée d'atteindre les objectifs définis au niveau du pays.

c) Au niveau local

- les **districts de conservation des eaux souterraines** : ils collectent des informations sur l'utilisation et la qualité de l'eau dans le district. Leur autorité pour limiter le pompage et protéger la qualité de l'eau reste cependant limitée. Ces districts sont regroupés au sein de la *Texas Alliance of Groundwater Districts*.
- les **seize groupes de gestion régionaux** (*cf. carte en annexe 3*) : ils dessinent la gestion régionale de l'eau, sous la direction du TWDB, de la TCEQ et du TPWD. Ces seize groupes furent mis en place par le TWDB en 1997 après le vote du projet de loi *Senate Bill 1*, en tenant compte de facteurs tels que la délimitation des bassins versants et des rivières, des zones climatiques, des facteurs socioéconomiques, des groupes de gestion des eaux préexistants, des limites de comtés, etc. Les limites de ces aires de planification sont revues par le TWDB tous les cinq ans.
- les **autorités de rivière** : ce sont des agences gouvernementales qui ont été créées par la législation en vigueur au Texas. Pour l'instant au nombre de treize, elles sont indépendantes et ont toute autorité pour effectuer n'importe quels travaux en vue de contrôler, stocker ou préserver la ressource en eau. Ces autorités présentent l'avantage de réaliser une gestion par rivière, et non selon les frontières administratives des comtés.

L'ensemble des acteurs est rassemblé au sein de la **Water Conservation Implementation Task Force**, dont les membres sont sélectionnés par le TWDB. Aujourd'hui, les groupes suivants sont représentés :

- Texas Commission on Environmental Quality
- Texas Department of Agriculture
- Parks and Wildlife Department
- State Soil and Water Conservation Board
- Texas Water Development Board
- Groupes de développement régionaux
- agences fédérales (NRCS)
- municipalités
- districts de conservation des eaux souterraines
- autorités de rivière
- groupes pro-environnementaux (Sierra Club)
- districts d'irrigation
- entreprises (AEP, Oxyd Permian)
- institutionnels utilisateurs d'eau (université d'Austin)
- organisations professionnelles œuvrant dans le domaine de la conservation de l'eau (président du Texas Farm Bureau par exemple)
- enseignement supérieur (Dr Allan Jones, directeur du TWRI)

L'ensemble des membres est chargé d'évaluer la situation actuelle en ce qui concerne l'utilisation de la ressource et de proposer des niveaux d'utilisation optimisant l'efficacité et la conservation de la ressource pour le Texas.

d) Une législation originale au Texas

L'appropriation des eaux de surface ne pose généralement pas de problème car elles appartiennent à l'état du Texas qui réglemente leur utilisation par un système de distribution de permis, géré par la TCEQ. Un permis peut être obtenu de plusieurs manières :

- directement en faisant une demande de nouveau permis auprès de la TCEQ
- en achetant et transférant un permis préexistant dans le bassin concerné ou dans un autre bassin
- en louant l'eau au possesseur d'un permis

Il existe aujourd'hui environ 12 000 propriétaires de permis pour les eaux de surface au Texas. Ces permis sont de véritables droits de propriété ; ils peuvent être vendus, loués ou transmis à une autre personne, tout en prévenant la TCEQ de la transaction.

Cependant, en ce qui concerne les eaux souterraines, le Texas se distingue des autres états par l'existence d'un **droit de capture** qui autorise tout propriétaire à disposer comme il le souhaite de l'eau souterraine à laquelle il est en mesure d'accéder en forant. Ce règlement avait été adopté en 1904 par la Cour Suprême de Houston, autorisant ainsi le propriétaire à utiliser ou vendre son eau comme bon lui semble. De nombreuses municipalités ont par exemple acheté de l'eau à des propriétaires ruraux (souvent même en dehors de leurs comtés), créant ainsi un phénomène de "water ranching", notamment dans les Hautes Plaines de l'ouest de l'Etat. Ceci s'était développé avant que l'on ne prenne conscience des limites des réserves des aquifères et surtout avant que la pression démographique ne soit trop forte.

Depuis, le droit de capture existe encore mais des **districts de conservation des eaux souterraines** ont été créés par la législation texane en 1949. Le premier district créé était celui des Hautes Plaines (au nord du Texas) en 1951. Les districts peuvent être créés de plusieurs manières :

- décision législative, sous l'impulsion d'un homme politique local, par exemple
- regroupement volontaire de propriétaires qui réalisent alors un projet à valider par la TCEQ
- sur l'initiative de la TCEQ
- par ajout d'un territoire à un district déjà existant

Les districts de conservation décident de l'espacement des puits et de leur production par le biais d'une distribution de permis. Même si les permis ne sont généralement pas refusés, ce système contraint les propriétaires à une réglementation, inexistante dans les zones où le droit de capture est encore en vigueur et c'est pourquoi la TCEQ encourage fortement la création de nouveaux districts.

Il existe actuellement 80 districts de conservation des eaux souterraines au Texas, identifiés sur la carte en annexe 2.

Les autres territoires continuent cependant de préférer le droit de capture plutôt que de créer de tels districts. Les inconvénients freinant le plus souvent leur mise en place sont le fait de créer une nouvelle structure gouvernementale, pouvant imposer de nouvelles taxes, limitant l'usage de l'eau et n'ayant même pas le pouvoir d'empêcher l'eau d'être exportée vers des comtés voisins.

4°/ Conclusion

Il est évident que la situation du Texas est très complexe en raison de la taille de son territoire. Celle-ci autorise la présence d'une agriculture performante et variée, centrée autour des cultures irriguées et de l'élevage. Cependant, cette activité dépend fortement des ressources en eau de l'Etat qui, bien qu'importantes, ne seront pas éternelles comme nous allons le voir par la suite. Une multitude d'acteurs est impliquée dans la gestion de cette ressource et ce nombre est également un premier indicateur des difficultés de coopération et de concertation nécessaires au développement de certains projets. Le droit de capture au Texas a enfin contribué à une surexploitation des eaux souterraines, l'eau étant gratuite pour les propriétaires. Cette situation me conduit donc à considérer l'influence de l'activité agricole sur la ressource afin de dégager les principales problématiques.

II . Problématiques et enjeux pour l'eau et l'agriculture du Texas

Le Texas couvrant un territoire plus grand que la France, il est bien évident que la situation n'est pas homogène à travers tout l'Etat. Les grandes problématiques présentées ici restent donc assez générales, et ne sont pas nécessairement ressenties partout de la même manière.

1°/ En ce qui concerne la quantité de la ressource

a) L'irrigation : la plus grande consommatrice d'eau du Texas

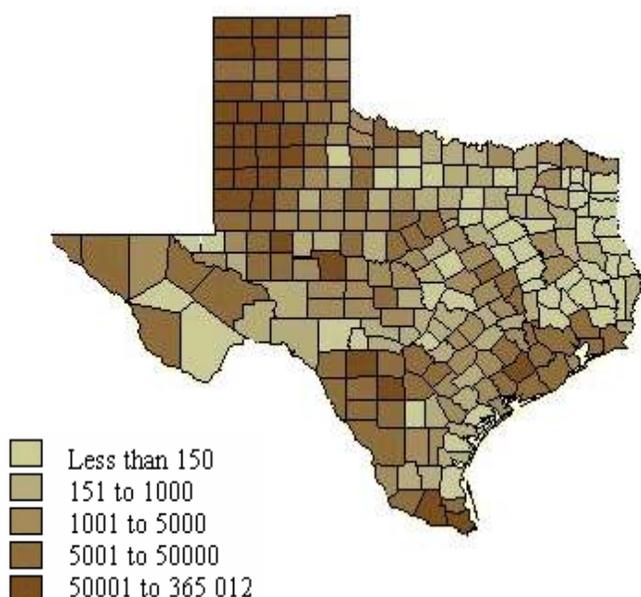
L'irrigation pour l'agriculture a historiquement été la plus grosse utilisatrice d'eau à travers le Texas : elle y emploie aujourd'hui près de 59,5% du total de l'eau consommée chaque année (*voir annexe 1*). En 2000, les agriculteurs utilisaient environ 12 100 millions de m³ d'eau par an pour cultiver des cultures variées sur environ 2,55 millions d'hectares de terres irriguées. Sur ce total près de 80% proviennent de ressources souterraines. Ces dernières années, le TWDB a de plus contribué, à hauteur de 276 000 dollars, à l'installation de 435 appareils de mesure afin de connaître plus précisément les quantités d'eau utilisée à des fins d'irrigation, en vue d'obtenir des statistiques plus précises.

En 2000, il apparaît quand même que les cinq cultures suivantes utilisaient plus de 80% de l'eau pompée par l'agriculture :

Coton (49% irrigué)	Blé (16% irrigué)	Maïs (94% irrigué)	Sorgho (4,5% irrigué)	Pâturages
33%	16%	16%	9%	8%

La valeur des recettes dégagées par les cultures irriguées compte pour la moitié de celle de toutes les cultures au Texas, alors qu'elles ne représentent que le tiers des récoltes.

Terres en irrigation (en acres) en 1997
avec 1 acre = 4047 m²



On constate ainsi que les régions les plus irriguées sont le nord du Texas (High Plains), situées sur l'aquifère *Ogallala* ainsi que la vallée du Rio Grande et la côte le long du Golfe du Mexique au sud.

Ceci correspond aux cultures que l'on retrouve dans ces régions puisque, notamment dans les Hautes Plaines du nord de l'Etat, se concentrent près de 65% des terres plantées en coton au Texas, 36% pour le maïs et 45% pour le sorgho (*chiffres 2003, National Agricultural Statistics Service*).

Source : www.texasep.org

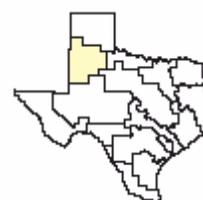
D'après les chiffres de 2001, trois régions consommaient chacune plus de 600 millions de m³ d'eau par an, totalisant près de 75% de la consommation d'eau pour l'irrigation du Texas à elles trois. Ces régions sont identifiées sur les cartes suivantes :



Panhandle (A)
2220 millions de m³



Vallée du Rio Grande (M)
888 millions de m³



Llano Estacado (O)
5242 millions de m³

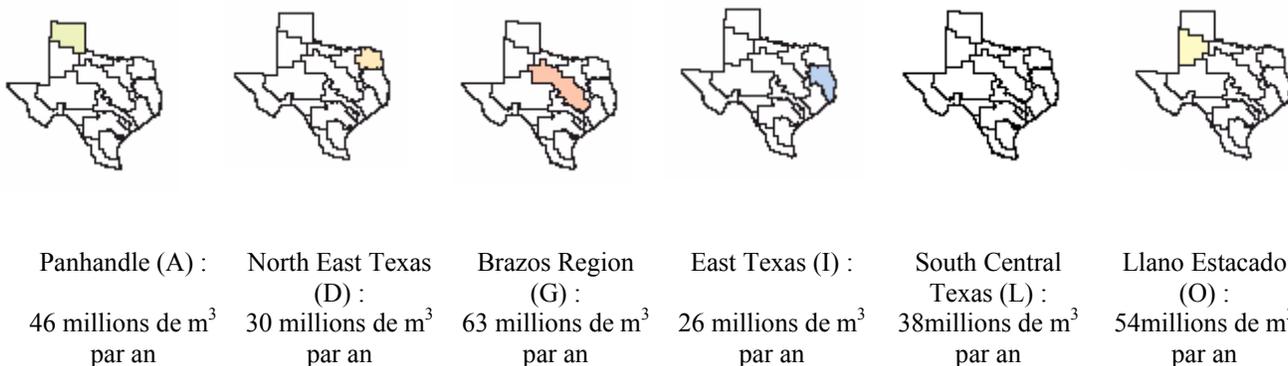
D'après les projections réalisées par le TWDB, la demande en eau pour l'irrigation devrait cependant diminuer de 12% d'ici 2050. Ceci serait dû d'une part à l'amélioration des techniques d'irrigation rendant l'eau plus efficace et d'autre part à des transferts volontaires de permis d'utilisation d'eau des agriculteurs aux municipalités. En effet, devant la pression croissante des villes, il devient de

plus en plus avantageux pour les agriculteurs de leur vendre leurs permis et de réduire leur surface de cultures irriguées.

b) L'élevage n'affecte que de loin la quantité d'eau utilisée

D'après les projections du TWDB, la demande en eau pour l'élevage devrait augmenter de 27% d'ici 2050, passant d'une consommation de 407 millions de m³ par an en 2000 à 520 millions de m³ en 2050. L'élevage consomme pour l'instant environ 2% de la consommation totale en eau du Texas par an, soit très peu d'eau relativement aux cultures irriguées.

Régions les plus utilisatrices d'eau pour l'élevage au Texas (plus de 25 millions de m³ par an)

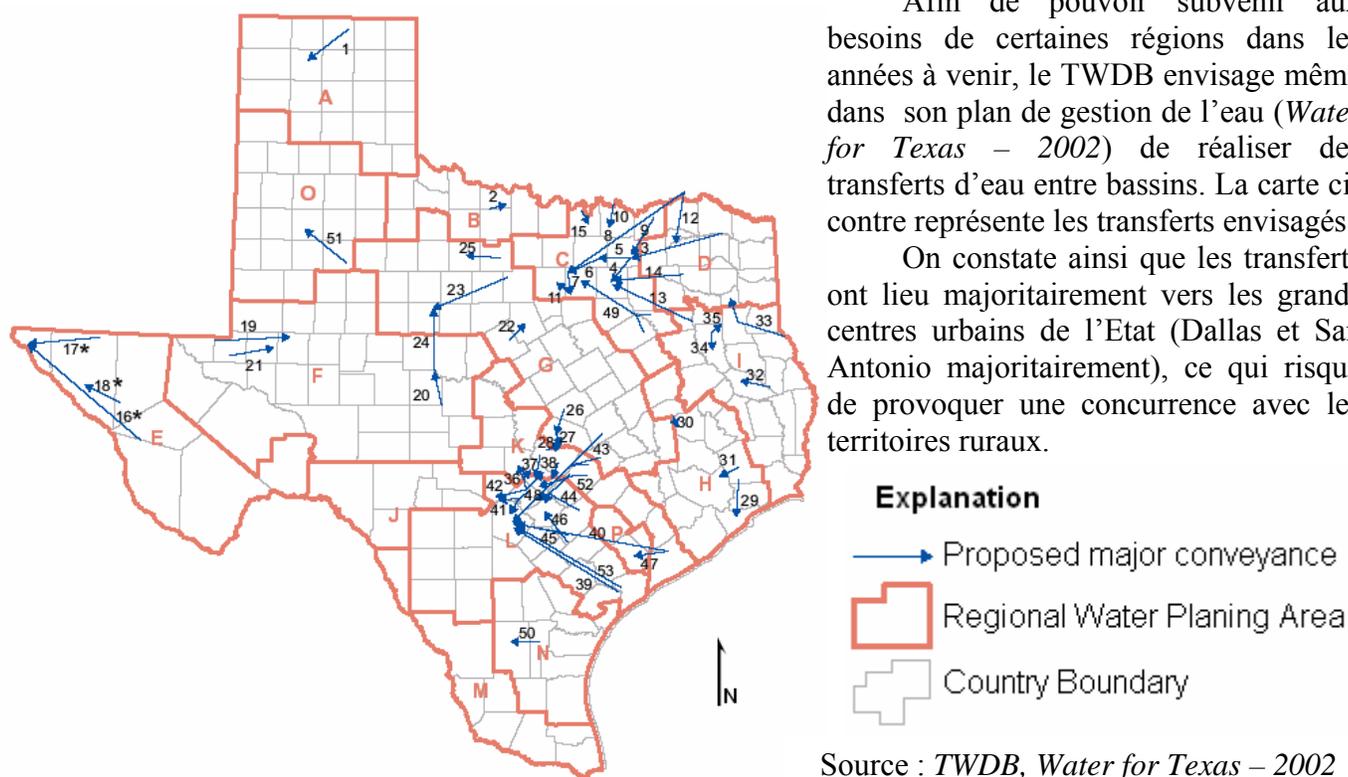


L'élevage ne va donc pas tant influencer sur la consommation d'eau (relativement aux cultures) mais plutôt sur sa qualité comme nous allons le voir par la suite. Il est cependant intéressant de remarquer que les *High Plains* (régions A et O) cumulent les plus fortes consommations pour l'irrigation et pour l'élevage.

c) Des enjeux majeurs pour l'avenir

Il apparaît donc comme évident que parvenir à fournir de l'eau à chacun va être un enjeu majeur dans les années à venir au Texas. La population du Texas devrait en effet doubler d'ici 2050 mais, au lieu de se distribuer uniformément sur le territoire, cette croissance va se faire majoritairement autour des grands centres urbains de l'état. Cette tendance va donc créer une nécessité de partage de la ressource mais également une certaine compétition entre les aires urbaines et rurales. Les territoires ruraux ne comptent que 15% de la population mais couvrent plus de 85% de la surface du Texas. Leur économie dépend très largement de la viabilité de l'agriculture, qui peut aller jusqu'à fournir plus de 30% de leurs revenus pour les meilleurs comtés. Ces territoires sont pour la plupart largement tributaires de l'irrigation, ce qui contribue à faire de l'agriculture la première utilisatrice d'eau de l'état aujourd'hui. Cependant, pour la première fois dans l'histoire du Texas, elle devrait être devancée par les villes avant 2030, d'après les projections du TWDB.

Major conveyances proposed by Planings Groups



Afin de pouvoir subvenir aux besoins de certaines régions dans les années à venir, le TWDB envisage même dans son plan de gestion de l'eau (*Water for Texas – 2002*) de réaliser des transferts d'eau entre bassins. La carte ci-contre représente les transferts envisagés.

On constate ainsi que les transferts ont lieu majoritairement vers les grands centres urbains de l'Etat (Dallas et San Antonio majoritairement), ce qui risque de provoquer une concurrence avec les territoires ruraux.

Il deviendra donc absolument nécessaire de réserver un accès aux ressources en eau pour les territoires ruraux, afin de maintenir l'économie agricole texane. En contrepartie, l'agriculture va devoir mettre en place des pratiques de conservation de la ressource tout en améliorant l'efficacité de l'eau utilisée. Il faudra d'autre part envisager le développement de nouvelles ressources en eau, notamment grâce au dessalement d'eaux souterraines moyennement salées ou d'eaux usées (cf. III . 5°/b).

Il est bien évident que ceci ne se fera pas sans une action coordonnée des acteurs concernés, ni sans le développement d'une conscience collective de la valeur de l'eau. Certains groupes environnementalistes tels que le *Sierra Club* ou le *Natural Resources Defense Council* contribuent à éduquer le grand public tandis que les agences de l'Etat commencent à mettre en place des programmes d'information et de sensibilisation.

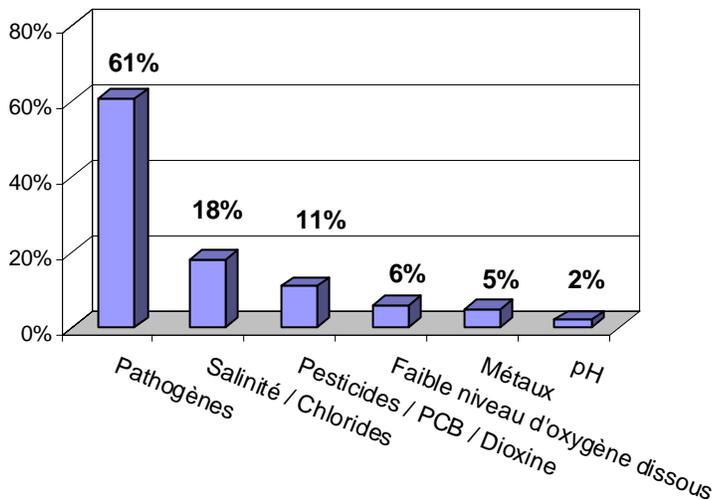
2°/ En ce qui concerne la qualité de la ressource

Après le vote du *Clean Water Act*, la législation texane a reconnu le besoin et la nécessité de protéger la qualité de l'eau. En 1991, elle a mis en place une politique de préservation des zones humides appartenant à l'Etat et a autorisé la création d'un plan de conservation pour ces zones. La même année, elle adopta le *Clean Rivers Act*, permettant aux autorités de rivières de mener une évaluation régionale pour chaque bassin versant, en collaboration avec la TCEQ. Gérer la qualité de l'eau reste cependant une tâche difficile, bien qu'une prise de conscience ait réellement lieu depuis le milieu des années 1990. En effet, l'essentiel des efforts texans portait pour l'instant sur le Rio Grande le long de la frontière avec le Mexique, bien que la pollution soit présente dans tout le Texas.

Concernant l'agriculture, son développement depuis les années 1950 a été réalisé dans une optique de performance et d'intensivité. Il a conduit à une forte augmentation des rendements, à un accroissement de la taille des élevages et à l'extension des élevages hors-sol. Dans ce contexte, l'agriculture a été conduite à utiliser divers produits, à l'origine de la moitié des gains de production réalisés mais dont certains représentent un grand danger pour la qualité de l'eau. Il s'agit principalement des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation), des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides) et de la pratique de l'irrigation qui entraîne une remontée de sels.

a) Causes et sources de pollution des eaux de surface au Texas

*Causes de pollution des fleuves et rivières
(en % de distance déclarée impropre), 2002*



La cause majeure de pollution des eaux de surface au Texas est un taux élevé de bactéries (fécales ou autres) : au niveau de l'état, 190 fragments de cours d'eau étaient assez affectés pour être considérés "impropres". Par ailleurs, 103 fragments étaient affectés par de trop faibles niveaux d'oxygène dissous. Les autres causes de pollution comprennent de trop hautes concentrations de métaux, de PCB (PolyChloroBiphényles) ou de dioxine chez les poissons, de pesticides ou encore de chlorures.

Source : TCEQ, Draft 2002 Texas Water Quality Inventory

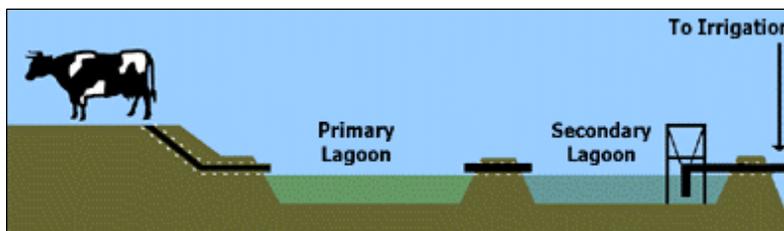
Cependant, en ce qui concerne les lacs et réservoirs, les causes de pollution sont différentes : pour 77% de la surface déclarée impropre, le problème provient de hautes concentrations en mercure et d'un mauvais pH (soit trop acide, soit trop basique) pour 12%. Les faibles valeurs de pH sont fréquentes dans l'est du Texas à cause d'une trop faible présence de matériaux neutralisants dans les sols sableux de la région. Au contraire les hautes valeurs de pH peuvent résulter d'une photosynthèse importante par des algues trop abondantes, cette abondance pouvant être due à un excès de nitrates dans l'eau.

Il existe par ailleurs deux types de sources de pollution des eaux de surface : des **pollutions d'origine ponctuelle** (installations de traitement des eaux industrielles par exemple) et des **pollutions d'origine diffuse** générées en grande partie par l'agriculture (nitrates, pesticides, déjections animales...). Selon le dernier inventaire de la qualité de l'eau du Texas fourni par la TCEQ, l'origine de l'essentiel des sources de pollution au Texas reste cependant inconnue.

Les acteurs majeurs de la pollution diffuse par l'agriculture sont les **CAFO** (*Confined Animal Feeding Operations*). Ce terme est employé pour désigner tout élevage qui maintient plus de x animaux confinés pendant au moins 45 jours (sur une période d'un an). Le nombre d'animaux pour être considéré comme un CAFO est parfaitement réglementé : 700 vaches laitières, 1000 veaux, 10000 agneaux ou brebis, 55000 dindes, 82 000 poules pondeuses, etc.

Ces installations génèrent 127 millions de tonnes de déchets chaque année, avec une grande variété de polluants potentiels : bactéries fécales, sels de potassium, nitrates...qui vont contaminer les rivières. Ceci entraîne une baisse du taux d'oxygène dissous dans l'eau, menaçant la viabilité des milieux aquatiques et par suite toute autre utilisation de l'eau. Concrètement, chaque CAFO doit obtenir un permis de l'état du Texas, attestant que les installations de traitement sont en règle, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de rejets ou de ruissellement des eaux usées directement dans les cours d'eau (hormis en cas de très fortes pluies).

Schematic of a two stage lagoon dairy operation



Source : Texas Cooperative Extension, Texas A&M University, College Station

Les eaux usées sont envoyées dans un premier bassin où la plupart des éléments solides vont se déposer. L'eau passe ensuite dans un second bassin où elle est à nouveau traitée avant d'être utilisée à des fins d'irrigation. Une contamination peut donc avoir lieu à cause de mauvaises techniques d'irrigation, de fortes pluies entraînant le débordement des bassins ou de fuites dans le fond des bassins.

Il y a plus de 600 permis d'installations de CAFO au Texas dont un grand nombre est localisé dans la région de la *Panhandle* (région A) et dans le comté de *Erath* près de *Stephenville* (cf. carte en annexe 4). On estime à plus de 200 le nombre d'élevages laitiers dans les bassins des rivières *Bosque* et *Leon*, soit environ 130 000 têtes de bétail produisant autour de 1,8 millions de tonnes de fumier chaque année. En 2001, la législation texane a voté une loi autorisant la TECQ à adopter des mesures plus sévères pour la distribution des permis dans ces bassins, à cause de problèmes de pollution à grande échelle (excès de nitrates entraînant une surpopulation d'algues, faible concentrations d'oxygène). Cependant, ce renforcement des mesures entraîne un déplacement des installations vers l'ouest du Texas, où contrôles et demandes de permis sont pour l'instant moins rigoureux.

D'autre part, il existe environ 4500 petites installations (ou AFO *Animal Feeding Operations*) qui ne requièrent pas de permis pour l'instant et qu'il ne faudrait pas pour autant négliger. La gestion de ces petites installations a été transférée en 1993 de la TCEQ au TSSWCB, dans le but de passer d'une relation plutôt réglementaire à un rôle d'assistance technique. En effet, même les petites installations sont censées respecter les règles de "non-décharge". Les deux agences doivent aider à l'avenir les éleveurs à adopter de meilleures méthodes de gestion des ruissellements, essentiellement grâce à des programmes de gestion des déchets auxquels ils pourront adhérer volontairement (voir III. 3°/c.).

La pollution des eaux de surface par les bactéries fécales (*E.coli* essentiellement) est ainsi devenue le problème majeur au Texas, bien plus que la pollution par les nitrates ou *a fortiori* les pesticides. En effet, Dr Allan Jones, directeur du *Texas Water Resources Institute* (TWRI), expliquait

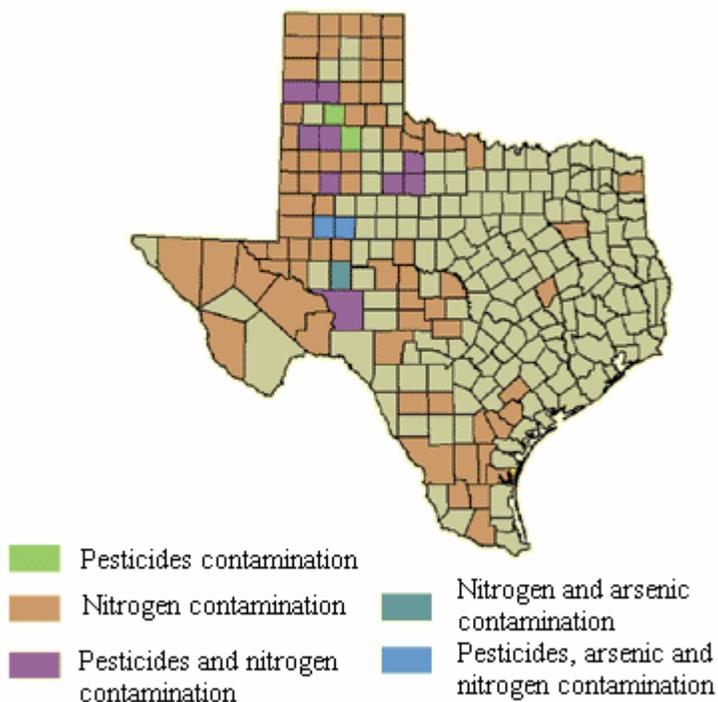
lors de notre rencontre que “l’institut possède des milliers de prélèvements réalisés dans les cours d’eau de l’état et moins de 1% des analyses détectent la présence de pesticides à des taux trop élevés, par exemple.”

En dehors des CAFO, les **terres agricoles** contribuent malgré tout largement à la pollution diffuse. Les ruissellements des terres de grandes cultures drainent des pesticides et des engrais vers les rivières tandis que ceux des champs utilisés pour l'élevage contiennent des particules d'érosion des sols, source de sédimentation dans les cours d'eau. D'autre part, les eaux de surface au Texas n'ont été que très peu protégées contre les pesticides. Le taux d'arsenic (présent dans nombre d'entre eux) devient un problème majeur dans de nombreux comtés mais comme il s'agit également d'un polluant d'origine industrielle ou encore présent naturellement, il est difficile de définir précisément sa provenance. Cependant, l'utilisation de nombreux pesticides étant devenue illégale durant les dernières années, le taux de pesticides dans les cours d'eau n'a que peu augmenté relativement aux nitrates.

b) Les eaux souterraines : moins polluées mais également moins protégées

En ce qui concerne les eaux souterraines, elles sont également très vulnérables à la pollution. Les problèmes viennent essentiellement des activités agricoles ou industrielles, ainsi que de l'irrigation qui, en surexploitant les aquifères, contribue à causer des infiltrations d'eau salée dans les aquifères. Malgré cela, les lois du Texas sont loin de protéger les eaux souterraines dans la même mesure que les eaux de surface. Il n'existe pas, par exemple, de standards de qualité de l'eau comme il peut en exister pour les eaux de surface. Or, une eau de qualité est nécessaire non seulement pour fournir de l'eau potable mais aussi pour pourvoir les besoins de l'agriculture irriguée et de l'élevage.

Comtés où la pollution des eaux souterraines par les pesticides, les nitrates ou l'arsenic est potentiellement d'origine agricole



La pollution par les nitrates des engrais est un véritable problème dans les *High Plains* et la vallée du *Rio Grande* tandis que la contamination par les ruissellements de CAFO a lieu dans la *Panhandle*, ainsi que dans le centre-nord et à l'est du Texas.

L'arsenic se retrouve essentiellement au niveau de l'eau pompée dans l'aquifère *Ogallala*, mais il est difficile de savoir si la cause de sa présence est agricole ou naturelle.

Source: TCEQ, 2002 Draft Texas Water Quality Inventory and TGPC, Joint Groundwater Monitoring and Contamination Report, 2002.

D'autre part, l'action était très morcelée et la gestion des eaux souterraines revenait à une myriade d'agences. En 1989, le *Texas Groundwater Protection Committee* (TGPC) a été créé pour essayer de coordonner ces actions : dix agences impliquées en matière de protection de la qualité des eaux souterraines sont aujourd'hui membres de ce comité. On y retrouve la TCEQ en tant que présidente, le TWDB en tant que vice-président, le *Texas Department of Agriculture*, le TSSWCB, la *Texas Alliance of Groundwater Districts*, la TAES mais aussi la *Railroad Commission of Texas*, le *Texas Department of Health*, le *Bureau of Economic Geology* et le *Texas Department of Licensing and Regulation*.

c) Une nécessité d'agir en coordination

Au vu de ces données, on constate que prévenir la pollution des eaux est le second enjeu majeur d'une gestion durable de la ressource : la dépollution étant beaucoup trop coûteuse et difficile à réaliser la plupart du temps, il est nécessaire de privilégier des approches préventives plutôt que curatives, ce qui n'est pas toujours le cas au Texas. En outre, alors que la législation texane est relativement complète lorsqu'il s'agit de protéger les eaux de surface, il conviendrait de la compléter en ce qui concerne les eaux souterraines dont la pollution par les intrants agricoles est devenue un problème de plus en plus important. Ces eaux étant la première source d'alimentation en eau potable des villes qui, comme vu précédemment, sont amenées à grandir considérablement dans les 50 prochaines années, le problème est d'autant plus préoccupant. Il est essentiel de parvenir à maintenir un certain niveau de qualité pour les eaux souterraines, de façon à ce qu'elles puissent être utilisées en permanence et de manière durable.

Il est bien évident que de leur côté, les agriculteurs et éleveurs vont devoir mettre en place des méthodes de bonnes pratiques (*Best Agricultural Management Practices*) en collaboration avec les recherches des universités, afin de réduire les émissions polluantes de tous types. La participation active de tous les acteurs et utilisateurs sera donc probablement déterminante afin de garantir une amélioration de la situation actuelle.

3°/ Conclusion

La situation du Texas envers sa ressource en eau paraît donc plutôt alarmante : les aquifères sont généralement surexploités et s'épuisent plus vite qu'ils ne se rechargent. L'agriculture consomme certes actuellement 80% de ces eaux mais la concurrence des villes se fait de plus en plus sentir : il devient très avantageux pour les propriétaires de vendre leur eau aux municipalités, ce qui crée des jeux de pouvoir entre les différentes parties.

Parallèlement, les eaux de surface sont plus réglementées en ce qui concerne le prélèvement de l'eau mais la pollution, en grande partie d'origine agricole, se fait sentir dans de nombreuses régions.

En raison de la superficie du territoire, les situations à travers l'Etat sont assez variées et les différentes régions doivent faire face à des problématiques plus ou moins diverses. Certaines telles que la vallée du *Rio Grande*, la *Panhandle* ou le centre ouest du Texas sont particulièrement affectées par les problèmes de rareté de l'eau ou de sa pollution.

Des actions sont donc nécessaires à tous les niveaux, de façon curative et préventive, et c'est pourquoi je me suis ensuite intéressée aux programmes et aux techniques mis en oeuvre à l'heure actuelle par les différentes institutions impliquées dans l'eau et l'agriculture au Texas.

III . Vers une préservation et une utilisation durable de la ressource en eau du Texas

1°/ Acteurs de la recherche liée à l'eau dans le domaine agricole au Texas

Avec plus de 44 000 étudiants et 2276 enseignants, l'**Université Texas A&M** (*Agricultural & Mechanical*) est aussi classée deuxième université publique du Texas (derrière l'université d'Austin) et 67^e université des Etats-Unis (sur près de 2000). Basée à *College Station*, au nord-ouest de Houston, elle fait partie du *Texas A&M University System* qui est l'un des systèmes d'enseignement supérieur les plus grands et les plus complexes du pays : il regroupe effectivement neuf universités, huit agences de l'état du Texas et un centre de sciences médicales. Au sein de ce système, on trouve *The Agriculture Program* (cf.annexe 5) qui regroupe les différents départements et agences en lien avec la recherche pour l'agriculture dans ce système, dont le *College of Agriculture and Life Sciences*, la *Texas Agricultural Experiment Station* ou TAES et la *Texas Cooperative Extension* ou TCE. Chacune de ces trois agences possède ensuite divers départements de recherche, tous reliés les uns aux autres.

Le **Texas Water Resources Institute** (TWRI) fait partie du réseau national des instituts de recherche sur l'eau aux Etats-Unis. Il fut créé en 1964 par le *Water Resources Research Act* et sert de point de rassemblement concernant les travaux sur l'eau au Texas. L'institut est impliqué dans un grand nombre de projets, notamment en recherchant les fonds nécessaires à leur aboutissement. Il travaille évidemment en étroite collaboration avec le *Texas A&M University System*. Allan Jones, directeur de l'institut, était d'ailleurs le président d'un sommet texan à Austin en novembre 2003, centré autour de l'eau pour l'agriculture et les ressources naturelles. Cette conférence alliait différentes présentations à des discussions en groupes de travail afin de proposer des recommandations et des stratégies sur trois objectifs clés au Texas : subvenir aux futurs besoins en eau, créer des marchés et des transferts d'eau et préserver l'environnement.

Reconnaissant l'importance de la recherche d'une part et de l'éducation d'autre part afin de subvenir aux besoins en eau du Texas, le *Texas A&M University System* a fondé en mai 2000 l'**Irrigation Technology Center**. Celui-ci est administré par le TWRI et fait partie des unités de la TAES. Il travaille en partenariats avec la *Texas Cooperative Extension*, les diverses agences locales et les universités. En ce qui concerne l'agriculture, son objectif est de travailler avec les agriculteurs, les districts de conservation de l'eau et les professionnels de l'irrigation en vue de développer des technologies de précision pour l'irrigation et de promouvoir l'utilisation de systèmes plus efficaces. Ce centre contribue également à former des professionnels grâce à la *Texas A&M School of Irrigation*.

2°/ Des efforts certains pour une utilisation de l'eau plus efficace

a) Etude des besoins réels des plantes cultivées

Des informations essentielles sur l'irrigation sont depuis 1995 accessibles d'un simple clic. La *Texas Cooperative Extension* et la *Texas Agricultural Experiment Station* (TAES) ont effectivement développé un site le *Texas Evapotranspiration Website* (<http://texaset.tamu.edu>) donnant accès aux données de chacune des 28 stations météorologiques du Texas. On peut alors calculer les évapotranspirations des plantes que l'on souhaite irriguer, puis le temps de pompage et d'irrigation nécessaire pour combler les besoins des cultures. Deux autres sites sont spécialisés sur les *High Plains* : le *North Plains PET Network* et le *South Plains PET Network*, tous deux accessibles depuis le site général cité ci-dessus.

La notion d'évapotranspiration regroupe l'évaporation directe de l'eau du sol (évaporation physique) et la transpiration par les plantes (évaporation physiologique). Sur un sol présentant un couvert végétal, les échanges par transpiration sont quantitativement plus importants que ceux par évaporation directe. La quantité d'eau transpirée par les plantes dépend de facteurs météorologiques, de l'humidité du sol dans la zone racinaire ainsi que de l'espèce et du stade de développement de la plante. Cependant, pour que ce processus puisse se produire, il faut bien sûr que les plantes aient la capacité d'évaporer de l'eau (facteur limitant) et que d'autre part, l'air exerce une demande, c'est-à-dire qu'il ne soit pas saturé en vapeur d'eau.

On distingue trois notions dans l'évapotranspiration :

- l'évapotranspiration de référence (**ET₀**) ou **évapotranspiration potentielle** définie comme l'ensemble des pertes d'eau par évaporation ou transpiration d'une surface de gazon uniforme, couvrant totalement le terrain, en pleine croissance et abondamment pourvue en eau
- l'**évapotranspiration maximale (ETM)** d'une culture donnée, définie à différents stades de développement, sans stress hydrique et avec des conditions agronomiques optimales (sol fertile, bon état sanitaire, etc.)
- l'**évapotranspiration réelle (ETR)** définie comme la quantité d'eau évaporée par les plantes (dans un état physiologique et sanitaire réel) et par le sol (dans son état d'humidité actuelle).

On a donc $ETR \leq ETM \leq ET_0$ pour le gazon et $ETR \leq ETM$ pour tous les autres végétaux. L'évapotranspiration d'un sol couvert par de la végétation reste cependant difficile à estimer, à cause des nombreux facteurs de variation existants. Les chercheurs sont parvenus à estimer les besoins en eau des cultures, équivalents à l'ETM, par correction de l'évapotranspiration potentielle ET_0 par un coefficient cultural k_c en utilisant la formule suivante : $ETM(\text{culture}) = k_c \cdot ET_0$

L'échelle de temps sur laquelle sont calculés les besoins des plantes varie de l'heure au mois ou à la phase de croissance selon les objectifs poursuivis. La valeur du coefficient cultural dépend largement du type de culture, de son taux de croissance, de la fréquence des pluies ou de l'irrigation, etc... mais reste toujours compris entre 0 et 1.

Le *Texas Evapotranspiration Website* permet donc aux agriculteurs (entre autres) d'accéder à ces données et de pouvoir ainsi gérer leur irrigation plus précisément, en adéquation avec les besoins réels en eau de leurs cultures. De réelles économies d'eau sont ainsi réalisées (tout en maintenant les rendements) et la ressource que représente l'eau de pluie est optimisée, ceci étant d'autant plus important dans les zones où il ne pleut que très peu. Cependant, ce site est essentiellement utilisé par des citoyens souhaitant réaliser des économies d'eau lors de l'arrosage de leur pelouse. En revanche, les deux sites centrés sur les *High Plains* couvrent plus de 1,6 millions d'hectares de grandes cultures, sur 50 comtés. C'est pourquoi ces données sont largement plus utilisées par les agriculteurs. Selon Dr Dana Porter du *Texas A&M Agricultural Research and Extension Center* et responsable du site des *South Plains*, "les données sont maintenant largement utilisées dans cette région".

b) Systèmes d'irrigation efficaces

Le Texas est le premier état producteur de coton aux Etats-Unis et pourtant, le rendement moyen y est un des plus faible du pays. Ceci est dû au manque d'eau car les ressources (eau de pluie ou eaux souterraines) deviennent très limitées. Il n'y a donc rien d'étonnant si le Texas est devenu le berceau d'outils efficaces en matière d'irrigation.

Le premier outil à avoir été mis au point est la technologie **LEPA** (*Low Energy Precision Application*) par Dr Bill LYLE de la *Texas Agricultural Experiment Station*. Le premier prototype fut développé en 1976 et, après 3 ans de recherche, il prouva son efficacité.

Le système utilise des basses pressions pour délivrer l'eau dans chaque sillon (*voir bibliographie [3] et [4]*). Les pertes dues à l'évaporation dans les systèmes d'irrigation classiques sont donc ici quasiment nulles. Les tests en champs démontrèrent des efficacités entre 95% et 98% (contre 40% à 50% pour les systèmes classiques fonctionnant avec des hautes pressions), alors que l'on utilise moins d'énergie (du fait des basses pressions) et que l'on améliore les rendements. Durant les années 1980, les chercheurs ont continué d'affiner le système (notamment pour en réduire les coûts matériels) et ont commencé à montrer les résultats aux agriculteurs locaux. Il fallait rendre le système adaptable à chacun, simple à utiliser et le moins coûteux possible.



Un arroseur LEPA

Source :

<http://agprogram.tamu.edu/publications/lifescapes/spring03/lepa.htm>

Les producteurs de coton du sud des *High Plains* furent les premiers à adopter le système au début des années 1990 et aujourd'hui, près des deux tiers des 1,7 millions d'hectares de terres de cultures irriguées des Hautes Plaines sont équipées de systèmes avec arroseurs à pivots centraux. Près d'un tiers est équipé de pivots à technologie LEPA, qui est d'ailleurs devenue la norme en irrigation agricole. Chaque arroseur coûte autour de 40 000 dollars, ce qui montre que les agriculteurs investissent des sommes non négligeables dans ces systèmes de conservation d'eau. Les économistes agricoles de *Texas A&M* estiment à 48 millions de dollars le gain annuel de revenu en utilisant la technologie LEPA. "*LEPA est plus qu'une pièce de quincaillerie*", affirmait Bill LYLE en 2003, "*c'est un véritable concept de production qui capture l'eau de pluie, réalise une irrigation efficace à moindre coût et apporte aux plantes uniquement l'eau dont elles ont besoin.*"

En contrepartie, les agriculteurs doivent adopter des méthodes de labour minimum afin de limiter l'érosion des sols et les ruissellements, du fait du volume d'eau beaucoup plus important atteignant le sol. Les systèmes LEPA sont donc d'autant plus efficaces sur des terrains plats et plutôt sableux, où le ruissellement est plus faible que dans les sols lourds et tassés.

Une des méthodes les plus efficaces pour réduire le ruissellement est "d'endiguer" les sillons : cette méthode de labour place des monticules de terre à intervalles réguliers dans le sillon, pour former des petits bassins de stockage. L'eau de pluie ou d'irrigation est ainsi captée et stockée dans les bassins en attendant de pénétrer dans le sol.



Source : L.New & G.Fipps, Center Pivot Irrigation, Texas Agricultural Extension Service (avril 2000)

Une autre méthode pour améliorer la distribution de l'eau et diminuer le ruissellement est de cultiver en cercles. Ainsi, le pivot ne décharge jamais toute l'eau dans quelques sillons comme cela peut-être le cas avec des rangées en ligne droite.

D'autres systèmes inspirés de LEPA ont été développés par la suite :

- **LESA** (*Low Elevation Spray Application*) : les tuyaux tractés sont remplacés par des jets en spray et, au lieu de déposer l'eau juste au niveau du sol comme les pivots LEPA, ceux-ci projettent l'eau à environ 45 cm du sol. Ce système fonctionne aussi avec des basses pressions mais le potentiel de ruissellement est plus faible qu'avec les LEPA, ce qui conduit à l'utiliser sur une plus grande variété de terrains et de sols. L'efficacité de l'eau est légèrement inférieure (entre 85% et 90%) mais les possibilités de *chemigation* (application d'intrants dissous dans l'eau d'irrigation : cf. III. 3°/ b.) sont plus importantes, grâce au système de spray qui permet d'appliquer les produits sur les feuilles, à la différence des tuyaux.
- **MESA** (*Mid Elevation Spray Application*) : ce système vaporise l'eau plus haut par rapport au niveau du sol (pas aussi haut que les systèmes fonctionnant à haute pression, mais cela peut aller jusqu'à 1,5 m au-dessus du sol). Ceci permet de réduire les risques de transmission de maladies, plus importants avec les autres systèmes. L'inconvénient est que l'efficacité de l'eau diminue, à cause de pertes par évaporation.

La **SDI** (*Subsurface Drip Irrigation*) est par contre un système complémentaire des LEPA et de nombreux agriculteurs l'utilisent pour irriguer les angles des champs qui ne sont pas couverts par les irrigations des pivots centraux. L'irrigation est entièrement souterraine et, si le système est correctement installé, la surface du sol n'est même pas humidifiée. Ceci permet de minimiser les pertes d'eau et d'humidifier le sol directement au contact des racines. Le système est de plus utilisable sur tout type de terrain, à la différence des LEPA mais il y a quand même certains inconvénients :

- Dégâts de rongeurs sur les lignes de goutte-à-goutte
- Risque de germination précoce
- Peut nécessiter une adaptation des équipements à des espaces non conventionnels
- Expérience limitée

Le système fonctionne également avec des basses pressions et permet d'obtenir une efficacité pour l'eau du même ordre que la technologie LEPA.



Installation de systèmes SDI

Source :

http://www.harvestcleanenergy.org/conference/HCE4/HCE4_PPTs/Davies.pdf



Ces économies d'eau sont importantes pour tous les Texans et sont un des moyens qui permettra de continuer à fournir de l'eau à l'agriculture et aux aires urbaines en croissance. En combinant un système d'irrigation efficace et un apport en eau planifié selon les besoins des plantes et leur évapotranspiration, les producteurs obtiennent les rendements optima pour un apport d'eau donné.

L'utilisation de ces technologies est soutenue par le TWDB, notamment grâce à un programme *Agriculture Water Conservation Loan Program* (créé en 1985 par la législation texane) qui subventionne les agriculteurs les utilisant. Les fonds sont le plus souvent attribués à des districts (de conservation des eaux souterraines, de conservation du sol et de l'eau ou encore d'irrigation) qui doivent ensuite répartir l'argent entre les agriculteurs pour compenser les coûts de matériel, de préparation, d'installation, etc. Les candidats peuvent avoir des objectifs d'amélioration de l'efficacité de l'eau utilisée mais aussi de conversion de terres irriguées en non irriguées ou de meilleure utilisation de l'eau de pluie. A ce jour, le TWDB a subventionné 17 districts pour un total de 37,1 millions de dollars.

Le TWDB a également créé un *Agricultural Conservation Grants Program* grâce à des fonds provenant de l'*Agricultural Trust Fund* (16,5 millions de dollars en 2002) qui est un fond distribué équitablement entre le TWDB, le TSSWCB, la TAES et le *Texas Cooperation Extension Service*. Ce programme utilise les subventions pour mesurer et évaluer l'efficacité des systèmes d'irrigation et des pratiques agricoles en ce qui concerne la conservation de l'eau ainsi que pour tester la qualité de l'eau (de surface ou souterraine), entre autres choses.

3°/ De nombreuses actions en vue de diminuer la pollution

a) Programmes des différentes agences concernant les parcelles cultivées

Le Clean Water Act demande aux états d'identifier les cours d'eau dits impropres où les standards de qualité ne sont pas atteints puis d'établir un ordre de priorité pour le traitement de ces eaux. Les états doivent ensuite établir un **programme de "charge totale maximale quotidienne"** (*Total Maximum Daily Load Program ou TMDL*) qui prend en compte les pollutions diffuses et ponctuelles occurant sur ces cours d'eau. Une charge totale maximale quotidienne est en quelque sorte un budget pour un cours d'eau spécifique : c'est la quantité maximale de polluants qui peut être déversée chaque jour dans un cours d'eau sans que celui-ci ne devienne impropre ou ne viole les standards de qualité d'eau de l'état. Le maximum autorisé est ainsi la somme des polluants venant de source diffuse, ponctuelle et naturelle, à laquelle on ajoute une marge de sécurité tenant compte des erreurs des modèles scientifiques, entre autres. Le Texas et donc la TCEQ ont commencé à mettre en

place de tels programmes en 1996, grâce à des processus de concertation impliquant toutes les personnes ayant un enjeu dans leur mise en place, les agriculteurs étant parmi les premiers concernés. Un programme de TMDL reste en vigueur jusqu'à ce qu'il soit révisé ou remis à jour, ce qui arrive uniquement si les conditions changent de façon importante au sein du bassin versant concerné.

Par ailleurs, le vote du projet de loi *Senate Bill 503* en 1993 a autorisé le TSSWCB à soutenir financièrement des **plans de gestion de la qualité de l'eau** au Texas, faisant ainsi un grand pas pour contrôler la pollution diffuse de source agricole ou sylvicole. Depuis, plus de 6000 plans ont été mis en place. Un plan de gestion de la qualité de l'eau (*WQMP : Water Quality Management Plan*) est un document spécifique à un site, développé par un propriétaire et approuvé par les districts de conservation du sol et de l'eau (bureaux locaux du TSSWCB) pour les terres agricoles ou sylvicoles. Ces plans incluent des pratiques culturales appropriées, des méthodes de production et de gestion, des technologies... afin d'atteindre un certain niveau de qualité des eaux (déterminé par le TSSWCB en collaboration avec ses bureaux locaux), en accord avec les standards de qualité exigés au niveau de l'état du Texas. Ainsi sont considérées les différentes rotations culturales et la gestion des résidus de culture pour les terres cultivées, tandis que l'on s'intéresse plus au mode de gestion des pâturages dans les zones de grands élevages extensifs, en vue de mettre en place un système de gestion durable des sols. D'autre part, les WQMPs passent aussi en revue les intrants utilisés, que ce soient engrais ou pesticides afin d'indiquer aux agriculteurs comment appliquer ces composés de façon plus raisonnée. Si le plan concerne un CAFO, un système de gestion des déchets doit faire partie du document. Il en va de même pour l'eau d'irrigation, le contrôle de l'érosion des sols... Ces documents présentent l'avantage d'être assez flexibles pour s'adapter à un grand nombre de situations. Le WQMP est soumis à une révision annuelle.

Ces programmes entrent dans le cadre du *Clean Rivers Program* qui est un programme créé par la TCEQ et fonctionnant en collaboration avec les différentes agences du Texas (autorités de rivière, agences de l'état du Texas, municipalités, groupes de volontaires...). Son objectif est de favoriser des approches à l'échelle d'une rivière ou d'un bassin versant, à un niveau local et régional, en coordonnant les efforts de chaque organisation. Le programme doit également fournir des outils d'aide à la décision en ce qui concerne la pollution de l'eau dans chaque bassin. Des alternatives doivent également être recherchées pour prévenir les sources de contamination. Ce programme vise réellement à rassembler tous les acteurs de la qualité de l'eau au Texas et ceci afin d'avoir une action de restauration de la qualité de l'eau à l'échelle du bassin, ce qui est réellement innovant aux Etats-Unis où la qualité des eaux est essentiellement gérée selon les limites administratives des états et comtés.

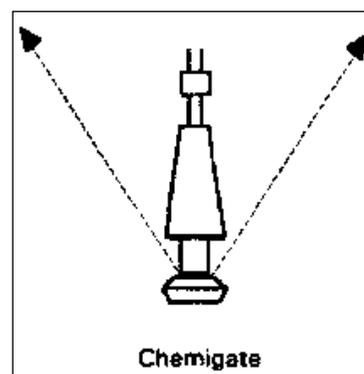
Il existe enfin un *State Control Brush Program* qui est basé sur le volontariat et repose sur un contrat entre propriétaires et l'Etat pour partager les coûts engendrés par le débroussaillage de leurs parcelles le long des cours d'eau. Les broussailles gaspillent en effet de grandes quantités d'eau qui pourraient être employées de façon plus bénéfique.

b) Une application de précision pour les intrants grâce à la chemigation

La *chemigation* est l'apport de produits chimiques approuvés (que ce soient des engrais, des herbicides, des fongicides, des insecticides ou des nématicides) avec l'eau d'irrigation grâce au pivot central.

Application de produits chimiques par une tête LEPA

Source : voir bibliographie [6]



Les réglementations de l'EPA exigent des contrôles de sécurité afin de prévenir d'éventuelles contaminations des eaux. Cependant, si le système est utilisé de façon sûre et contrôlée, cela permet à l'agriculteur de réduire la quantité et les coûts d'intrants utilisés tandis que l'application est beaucoup plus précise : les intrants sont ainsi employés à la concentration voulue, aux endroits voulus. D'autre part, ceci permet de diminuer la compaction des sols et les dommages réalisés aux cultures lors du passage des engins. L'opérateur est d'autre part beaucoup moins exposé à ces produits, plus ou moins toxiques. Le temps de travail est également réduit, en particulier si deux produits chimiques (qui doivent être compatibles entre eux) sont appliqués simultanément.

La *fertigation*, cas particulier des engrais, est très répandue et a de nombreux effets bénéfiques. L'azote est le plus fréquemment appliqué en raison des grandes quantités utilisées par les cultures. L'azote étant un élément particulièrement soluble, il est nécessaire de le manipuler avec précaution. En revanche, lorsque ceci est bien géré, on limite ainsi les infiltrations d'azote dans le sol par la quantité d'eau appliquée et une utilisation rapide de l'engrais par les plantes.

Ces procédés limitent considérablement la pollution des eaux souterraines car beaucoup moins de produit est appliqué à un temps donné, les applications correspondant aux besoins des cultures. L'inconvénient majeur provient du fait que la plupart des solutions utilisées sont corrosives et entraînent donc une dégradation plus rapide des pompes et des canalisations.

c) Actions au niveau des élevages hors-sol

Avant de pouvoir résoudre le problème de la contamination bactérienne, il est nécessaire de savoir quelles en sont les origines. Ceci est la raison d'être du programme **Bacterial Source Tracking (BST)** qui cherche à identifier les différentes bactéries contribuant à la pollution des cours d'eau. Grâce à des analyses de bactéries fécales, les chercheurs espèrent identifier leurs origines afin d'améliorer la qualité de l'eau. Sept méthodes sont actuellement en développement mais elles seront développées en dernière partie, ces techniques ayant été abordées lors de mon déplacement à Chicago.

En novembre 2000, la TCEQ et le TSSWCB ont mis en place une solution innovante pour résoudre les taux élevés d'azote, ammoniacque, phosphore et bactéries fécales dans les cours d'eau des bassins des rivières *North Bosque* et *Leon* au centre du Texas. Ces excès sont en effet à l'origine d'une eutrophisation du milieu avec notamment une croissance rapide d'algues, une réduction de la concentration en oxygène dissous et une diminution de la biodiversité. Les ruissellements provenant des élevages intensifs laitiers hors-sol de cette région sont en effet une source significative de

contamination diffuse de ces deux cours d'eau. Un projet ambitieux de **compostage des fumures** a alors été élaboré afin de transporter les déchets des élevages vers des installations de compostage. Ce procédé permet de réduire le volume de déchets de 50% environ et de les utiliser ensuite comme amendement sur d'autres sols. Ces composts sont par exemple utilisés par le *Texas Department of Transportation* (TxDOT) pour fertiliser la végétation le long des autoroutes, mais de nouveaux marchés sont en train de se développer avec l'utilisation croissante de ce procédé. La quantité initiale de fumures destinée à être évacuée vers des stations de compostage était de 300 000 tonnes pour les 36 mois que durait le projet. Cependant, le projet a évolué plus vite que prévu et, au 31 janvier 2002, environ 500 000 tonnes avaient été traitées, soit 150% de l'objectif original en seulement 14 mois. Les éleveurs étaient soutenus financièrement par le TSSWCB dans leurs coûts de transport à hauteur de 3 dollars par tonne. Ces résultats révèlent assez bien la popularité du projet auprès des éleveurs de la région. Au vu de ce succès, le Texas devrait mettre des fonds supplémentaires dans ce programme durant les deux années restantes. En ce qui concerne le procédé de compostage en lui-même, la TCEQ s'assure que les stations sont propres et que les processus n'accroissent pas encore les problèmes de pollution. En plus de l'assistance technique, la TCEQ contrôle également que les composts, bassins et lagons sont conformes aux normes de qualité requises. Toutes les stations de compostage au Texas doivent recevoir une autorisation avant de relâcher les eaux usées après traitement. Ces eaux ne peuvent cependant être utilisées qu'à des fins d'irrigation et ne peuvent en aucun cas être rejetées dans les cours d'eau. Les utilisateurs doivent par ailleurs fournir des documents certifiant que l'irrigation ne pourra permettre à des polluants d'atteindre les rivières et que leurs bassins de stockage des eaux usées peuvent retenir toutes les eaux usées sans aucun débordement.

Le projet est suivi en coopération avec le *Clean Rivers Program* qui vérifie qu'une meilleure gestion des déchets des CAFO a de réels impacts sur la qualité de l'eau de la région. Ce projet vise également à atteindre les standards de qualité définis dans le *North Bosque TMDL*.

Le TSSWCB a aussi mis en place un **index de phosphore** au Texas (*Texas Phosphorus Index*) afin d'évaluer plus précisément les sources de phosphore et de prévoir les ruissellements d'intrants. Cet index prend en compte un certain nombre de facteurs incluant des analyses pédologiques, les taux et lieux d'application des engrais (proximité par rapport aux cours d'eau).

L'agence finance également un programme concernant de **nouvelles technologies**. Il s'agit d'identifier, d'évaluer et de tester des technologies de réduction des taux de nitrates et de phosphore dans les déchets en provenance des CAFO. Les éleveurs sont invités à voir ces technologies lors des démonstrations et lorsque les évaluations auront été réalisées, un document guide devrait être élaboré pour les professionnels.

Enfin, une grande partie des bactéries contaminant les cours d'eau du Texas provenant des grands élevages hors-sol de l'état, la TCEQ a également défini certaines bonnes pratiques à respecter par les CAFO afin de limiter les ruissellements d'eaux usées. Ces pratiques incluent :

- le maintien d'une zone-tampon entre les cultures irriguées et le site où sont déposés les déchets solides
- des applications de fumiers possibles seulement sur les terrains situés à plus de 150 feet soit 45m environ des voies d'eau
- pas d'application de fumier sur les terrains sensibles à l'érosion
- le recyclage de l'eau utilisée pour le nettoyage des bâtiments à des fins d'irrigation
- la construction de rigoles et de canaux autour des bâtiments pour dévier le ruissellement

- la construction de bassins de rétention d'eau pour contenir l'eau de pluies et les ruissellements
- éviter d'utiliser les terrains à forte pente qui empêchent toute rétention du ruissellement
- l'épandage du fumier à un taux qui optimise l'utilisation de l'azote qu'il contient pour une culture donnée

La TCEQ est enfin à l'origine d'un ***Dairy Outreach Program*** dans huit comtés particulièrement concernés par les pollutions diffuses en provenance des grands élevages laitiers extensifs. Ces huit comtés sont *Erath, Bosque, Hamilton, Comanche, Johnson, Hopkins, Wood, et Rains*, tous situés dans les bassins des rivières *North Bosque* et *Leon*. Les éleveurs propriétaires de CAFO dans ces zones doivent suivre une formation initiale de huit heures, celle-ci étant renouvelée tous les deux ans. Parallèlement, chaque employé chargé de vérifier la conformité des installations doit être régulièrement formé. Malgré cela, ce programme n'empêche en aucun cas l'installation de nouveaux élevages laitiers dans la région et ne limite pas non plus l'agrandissement de celles déjà existantes. Au lieu de cela, la TCEQ requiert des permis pour les élevages abritant plus de 300 animaux (contre 700 normalement) ainsi que les huit heures de formation précédemment citées.

4°/ Deux initiatives de coopération intéressantes

Deux projets relativement récents sont soutenus par le TWRI. Ce sont des projets interdisciplinaires, qui permettent d'appréhender le problème à une échelle d'espace appropriée. Cette démarche, encore insuffisamment usitée, sera probablement incontournable à l'avenir, surtout pour traiter des problèmes autour de l'eau qui circule en permanence entre différents compartiments physiques et biologiques.

a) Lake Aquilla

Le lac Aquilla, situé dans le comté de Hill (dans le centre du Texas, voisin du comté de *Bosque*), était répertorié comme impropre depuis 1997 à cause de hauts niveaux d'atrazine, herbicide largement employé au Texas en raison de son faible coût. En réponse à cette situation, un groupe de travail a été mis en place avec le *Texas Department of Agriculture*, la TCEQ, le TSSWCB, le *Texas Watershed Protection Committee* et la *Texas Cooperative Extension*. Ce groupe prépara un TMDL (cf. III. 3°/a) pour identifier les sources de pollution et développer un plan de réduction d'utilisation de l'herbicide. Plus de 600 sources furent ainsi reconnues. Le TMDL aurait pu simplement interdire l'utilisation de l'atrazine mais cela aurait conduit à une catastrophe économique pour les agriculteurs. Au lieu de cela, le groupe de travail rechercha des subventions pour inciter les agriculteurs à adopter de bonnes pratiques culturales pour améliorer la qualité de l'eau. Ceci fut même étendu aux comtés voisins pour leur faire prendre conscience de l'enjeu.

Cette coopération eut un très grand succès puisque la quasi-unanimité des agriculteurs décida de revoir ses méthodes culturales et d'adopter de nouvelles pratiques pour limiter le ruissellement (techniques de labour, rotations des cultures, etc.). Les échantillons collectés entre 2001 et 2003 démontrèrent que les concentrations d'atrazine dans le lac étaient en chute de 60%, ramenant les concentrations annuelles moyennes à un niveau correct pour traiter l'eau et en faire de l'eau potable.

Ceci est un très bel exemple de coopération, des agences de l'Etat aux agriculteurs locaux, et démontre la nécessité d'une telle coordination pour aller vers une meilleure préservation de la ressource en eau.

b) Rio Grande Basin Initiative

Le bassin du *Rio Grande* est l'une des zones agricoles les plus productives des Etats-Unis, où l'agriculture utilise plus de 85% de l'eau du fleuve en raison de la présence de nombreuses cultures maraîchères irriguées. En 2001, une équipe de chercheurs de l'université *Texas A&M* et du *College of Agriculture and Home Economics* de l'état du Nouveau-Mexique a commencé à travailler avec les acteurs locaux (districts d'irrigation, agriculteurs, agences locales...) afin d'adopter des méthodes d'irrigation plus efficaces et d'économiser l'eau. La *Rio Grande Basin Initiative* fut alors fondée au niveau fédéral et est à présent administrée par B.L. Harris au TWRI et la *New Mexico State University Water Task Force*.

Le projet est centré sur plusieurs tâches :

- évaluer le fonctionnement des districts d'irrigation locaux et favoriser l'emploi de nouvelles technologies
- former et éduquer les agriculteurs grâce à l'*Irrigation Technology Center*
- aider les producteurs (assistance technique et administrative)
- évaluer les nouveaux systèmes d'irrigation et créer une documentation afin d'aider les agriculteurs souhaitant améliorer leur gestion de l'eau
- évaluer les impacts des nouveaux systèmes sur la qualité de l'eau du fleuve
- développer une recherche appliquée en vue d'utiliser le dessalement ou les eaux usées traitées pour irriguer les cultures
- utiliser des images satellites et différents modèles pour estimer l'évapotranspiration des cultures et leur stress hydrique

Ce projet permet de rassembler tous les acteurs ayant à voir de près ou de loin avec le *Rio Grande*, afin de prendre en charge une situation qui était vraiment devenue préoccupante.

5°/ Autres recherches

a) Utilisation de photos aériennes infra-rouges pour évaluer la croissance des cultures

Les calculs de rendement permettent de comparer la production de différentes parcelles mais, à l'heure de la récolte, toute possibilité de modifier la conduite des cultures a disparu. Ceci explique la nécessité d'avoir des indicateurs de la croissance des plantes, et en particulier de l'efficacité de l'eau appliquée dès les premiers stades de développement des cultures.

Ceci est aujourd'hui possible en mesurant la lumière réfléchiée par les plantes (*voir bibliographie [5]*). Leur réflexion étant plus importante dans les spectres infra-rouges, il est préférable d'utiliser ce type de photographies (plutôt qu'en vraies couleurs) pour évaluer la santé des cultures. Il reste encore beaucoup à apprendre sur ces techniques et le type de stress qu'elles permettent de détecter mais les recherches sont en cours, notamment dans le département d'agriculture de précision de l'Université Texas A&M. Les cultures connaissant de bonnes conditions agronomiques (pas de stress hydrique ni de parasites, quantité d'azote suffisante...) sont généralement bien vertes et réfléchissent très fortement les infra-rouges, ce qui les fait apparaître en rouge brillant sur les photographies. Ceci permet aux producteurs de connaître la dynamique de leurs cultures, en fonction des couleurs apparaissant sur les photographies, et de pouvoir ensuite adapter leur conduite s'ils le désirent. Les plantes en stress hydrique ou azoté par exemple apparaissent nettement plus claires sur les photographies, ce qui permet d'adapter la quantité d'eau ou d'intrants à appliquer.

Exemple : dynamique de l'eau dans des parcelles de coton



Cette image montre par exemple la dynamique de l'eau dans la parcelle (aires plus sombres en haut de l'image), due à une faible inclinaison du terrain. Les rendements sont ainsi plus élevés dans cette zone que dans les endroits plus secs du champ.

A l'inverse, cette seconde parcelle souffre d'un sévère problème d'érosion du sol, visible grâce aux lignes blanches irrégulières.

Source : voir bibliographie [5]



L'inconvénient de cette technique est qu'elle ne procure pas de données quantitatives qui pourraient être directement applicable par les producteurs. Elle reste cependant à développer, notamment en vue d'améliorer les systèmes d'information géographique (GIS).

b) Plantes tolérantes à la sécheresse

Il existe au Texas un institut de recherche spécialisé dans l'agriculture des zones arides : il s'agit du **Dryland Agriculture Institute** (faisant partie du *Texas A&M University System*). Sa mission est de développer des stratégies pour améliorer la durabilité des systèmes d'agriculture sous climat aride, à l'échelle mondiale.

Dans ce cadre, des recherches sont en cours afin de mieux comprendre les phénomènes de résistance à la sécheresse dans les génomes des plantes cultivées. A titre d'exemple, des travaux ont été menés sur le blé d'hiver produit dans les Hautes Plaines au nord du Texas, où la sélection et le développement de cultivars résistants sont primordiaux en raison de l'augmentation du prix de l'eau et de la diminution des ressources (voir bibliographie [6]). La résistance à la sécheresse se révèle cependant un caractère complexe et difficile à améliorer. Les chercheurs ont alors essayé de caractériser systématiquement les différences de réponses physiologiques à la sécheresse au sein de lignées d'élite génétiquement proches, afin de mieux comprendre les mécanismes de résistance. Il en ressort que les lignées ayant un génotype résistant ont le plus souvent un potentiel d'ajustement osmotique bien supérieur à celui des génotypes sensibles. Ceci permet aux plantes résistantes de maintenir une certaine quantité d'eau (et donc une pression de turgescence) au niveau des feuilles. En conséquence, les gains de matière sèche des plantes résistantes sont beaucoup plus importants en cas de stress hydrique et ceci revêt une importance capitale lors du remplissage des grains qui va conditionner le rendement futur.

Il serait donc envisageable, à long terme, de sélectionner et cultiver des plantes au génotype résistant, en vue de diminuer les consommations d'eau des cultures sous climat plus sec.

c) Dessalement

Le dessalement consiste à séparer l'eau à traiter en deux parties : une eau claire et pure d'un côté et une eau concentrée en sel de l'autre. Cette séparation peut être réalisée selon différents procédés, thermiques ou membranaires (cf. rapport d'étude de T. Lebreton-Cluzel, bibliographie [7]). La seule objection à l'utilisation de cette technologie reste le coût des installations (0,4 à 0,8 \$ par m³ pour de l'eau moyennement salée et 0,8 à 2,1 \$ par m³ pour de l'eau de mer). La plupart des usines américaines (2^e pays producteur après l'Arabie Saoudite) ne traite donc que des eaux souterraines moyennement salées (entre 1g/L et 5g/L de sel en suspension contre 30g/L à 35g/L pour l'eau de mer), appelées "brackish water". Au Texas cependant, selon le directeur du TWRI, cette eau est surtout destinée à alimenter de petites villes rurales et non pas à être utilisée à des fins d'irrigation pour l'agriculture. Dans cet Etat, on recense plus de 100 installations produisant autour de 150 millions de litres d'eau par jour dont 58% pour les municipalités et le reste pour les industriels.

En 2002, le gouverneur du Texas Rick Perry demanda au TWDB de réaliser une étude sur la possible implantation d'une usine de dessalement d'eau de mer à grande échelle au Texas. Dans ce cadre, il était prévu qu'une partie de l'eau aille à l'agriculture mais le projet n'a pas encore réellement démarré et cela risque de prendre encore du temps. Les premières estimations prévoyaient d'achever le projet d'ici fin 2006 mais le site d'implantation de l'usine n'était toujours pas déterminé en 2003. Trois lieux restaient candidats : la région de la basse vallée du *Rio Grande*, la ville de *Corpus Christi* et la ville de *Freeport*.

Une alternative consiste cependant à utiliser les eaux usées produites par les douches, bains et lave-linge ou "gray water" (à la différence des eaux des toilettes, cuisines ou lave-vaisselle qui sont identifiées comme "black water"). Cette technique est pour l'instant utilisée afin d'irriguer les espaces verts municipaux ou jardins particuliers, l'eau étant recyclée directement de la maison au jardin. La faible quantité d'eau produite ne permet pas pour l'instant d'irriguer des espaces ayant une très forte demande en eau tels des champs cultivés.

d) Collecte et stockage de l'eau de pluie

Strictement parlant, l'eau de pluie est une ressource d'eau entièrement nouvelle, bien distincte des eaux de surface et des eaux souterraines. Collecter l'eau de pluie est une technique de conservation. Les besoins en eau survenant lors des périodes où les précipitations sont les plus faibles, il s'agit de stocker l'eau de pluie avant l'été.

Quelques maraîchers utilisent cette technique pour remédier aux fortes teneurs en sels minéraux des eaux souterraines, incompatibles avec une irrigation à long terme. Les systèmes se composent de capteurs situés sur les toits, de réservoirs, d'une grande citerne, de filtres de traitement, d'une pompe et d'un système pressurisant. Cette technique reste pour l'instant uniquement utilisée pour irriguer des espaces à faible demande en eau. En effet, la taille des systèmes de stockage (autour de 150 m³) ne permet pas de l'employer comme outil d'irrigation à grande échelle, en particulier dans des champs cultivés.

6°/ Conclusion

On remarque donc à première vue le grand nombre de programmes existants, soutenus et financés par différentes institutions. Cependant, il apparaît ensuite que ces agences fonctionnent de façon indépendante, sans aucune structure existante pour les coordonner réellement. Ceci entraîne probablement une certaine confusion au niveau des acteurs et il est difficile de dégager un véritable

plan d'action pour le Texas. Les programmes développés le sont le plus souvent au niveau local, par les agences locales.

D'autre part, les actions entreprises sont la plupart du temps à but curatif plutôt que préventif, ce qui laisse à penser que les problèmes vont se renouveler dans quelques années peut-être, dans des régions différentes où la prévention n'était pas de rigueur jusque-là.

En ce qui concerne les technologies, la plupart sont aujourd'hui prêtes à être plus largement employées, notamment en ce qui concerne l'irrigation de précision, mais la volonté semble parfois manquer. D'après Valeen Silvy du TWRI, l'agriculture fait depuis toujours partie intégrante de la culture texane. Les agriculteurs ont toujours été indépendants et entendent le rester : l'existence du droit de capture leur a permis de prélever autant d'eau qu'ils le désirent et cet état d'esprit sera difficile à changer. La seule chose qui va contraindre les agriculteurs à diminuer leur consommation d'eau sera l'augmentation des prix, due à la concurrence de plus en plus pressante des villes.

IV . Comparaison avec le cas du nord du Midwest

Les Etats-Unis couvrant un territoire à l'échelle d'un continent, il semblait intéressant de compléter ce rapport par l'étude d'un autre exemple, avec des perspectives différentes. Le nord du Midwest, à proximité de la ville de Chicago, semblait particulièrement intéressant dans la mesure où l'on se situe dans les plaines parmi les plus fertiles et cultivées du monde. L'Illinois compte 76 000 fermes qui couvrent 80 % de la surface de cet état, leader pour la production de maïs et de soja dans le pays. Les ventes de produits agricoles génèrent plus de neuf millions de dollars chaque année dans l'Illinois, le maïs représentant environ 40% de ce chiffre et le soja environ un tiers. L'élevage est également très présent, notamment pour la production de lait et de volailles. On recense ensuite autour de 950 compagnies agroalimentaires, ceci en faisant le premier secteur d'activité de l'Illinois.

Cependant, à l'inverse du Texas, la majorité des cultures de l'état n'est pas irriguée, les précipitations étant suffisamment abondantes pour subvenir aux besoins des plantes. Les problématiques concernant la ressource en eau sont donc axées ici sur sa qualité. Les problèmes majeurs proviennent de la pollution par les intrants agricoles ou les bactéries fécales, comme l'ont détaillé les personnes rencontrées.

Les premières personnes rencontrées faisaient partie du *Great Lakes WATER (Wisconsin Aquatic Technology and Environmental Research) Institute* associé à l'université de Milwaukee dans l'état du Wisconsin, au nord de Chicago. Cet institut fut créé pour répondre aux questions critiques de la quantité et de la qualité de l'eau dans le monde. Les problématiques de la durabilité de la pêche, de la santé humaine et des effets sur l'environnement de substances toxiques font également partie des thématiques de recherche de cet établissement.

En ce qui concerne les problématiques liées à l'agriculture, différents programmes de recherche traitent de la qualité de l'eau dans la région. Harvey A. Bootsma réalise actuellement des échantillonnages dans les rivières de la région (Wisconsin et Illinois essentiellement) afin d'identifier les différentes substances polluantes présentes. Son travail est centré sur les PCB (PolyChloroBiphényles) : ces derniers sont des substances toxiques qui étaient présentes en très grande quantité dans les cours d'eau de la région. Actuellement, les teneurs diminuent mais les composés ne disparaissent jamais complètement et les chercheurs tentent de déterminer à quoi est due cette persistance. De très fortes concentrations se retrouvent aujourd'hui au fond du lac Michigan et une étude de la chaîne alimentaire est en cours afin de connaître les risques de contamination pour la santé humaine. Les analyses portent également sur les intrants utilisés en agriculture, essentiellement pour

informer l'université qui recommande ensuite l'utilisation de bonnes pratiques aux agriculteurs : mise en place de bandes enherbées le long des cours d'eau, labour minimum pour limiter le ruissellement, etc. "*Cependant, ces mesures étant volontaires, très peu d'agriculteurs le font actuellement*", expliquait M. Bootsma.

Sandra L. McLellan est quant à elle une spécialiste du *Bacterial Source Tracking*. La contamination des eaux de surface par les bactéries fécales est effectivement un problème de grande ampleur dans le Wisconsin, en grande partie à cause des grands élevages laitiers intensifs hors-sol du nord de l'état. Des prélèvements d'échantillons sont ainsi réalisés en vue d'analyser les souches présentes de la bactérie fécale *E.coli*, ceci afin de mieux cerner les différentes sources de pollution diffuses de la région. Six techniques sont aujourd'hui développées et répondent à deux grandes méthodes permettant de différencier les souches bactériennes :

- méthodes moléculaires : analyses grâce aux enzymes de restriction, *ribotyping* (consiste à détecter puis analyser les fragments d'ADN protégés des mutations), utilisation de la PCR (Réaction de Polymérisation en Chaîne qui consiste à amplifier de courts fragments d'ADN pour les comparer et identifier des fragments uniques par la suite).
- méthodes biochimiques : différenciation par résistance aux antibiotiques, par analyse des acides gras constituant la membrane bactérienne, par analyse des sources de carbone et d'azote utilisées pour la croissance (tests en différents milieu nutritifs). Ces méthodes sont généralement appliquées pour des recherches moins précises (par exemple concernant la sûreté des plages pour la baignade) mais fréquemment demandées par les autorités.

Je me suis par la suite entretenue avec trois chercheurs de l'université d'*Urbana-Champaign*, dans l'Illinois, au sud de Chicago. Le professeur Gregory McIsaac du département *Natural Resources and Environmental Sciences* travaille actuellement sur un projet de comparaison des concentrations de produits chimiques dans les systèmes de drainage souterrains entre les productions biologiques et les productions conventionnelles de maïs et de soja de l'état. L'Illinois était au début du siècle une région marécageuse qui a ensuite été drainée afin de pouvoir cultiver la terre. Cependant, les canalisations de drainage sont des canalisations perforées, ce qui contribue au passage des intrants agricoles dans les eaux drainées, après s'être infiltrés dans le sol. Ces canalisations étant directement reliées aux cours d'eau, les intrants passent ainsi directement du champ aux rivières. Il est donc particulièrement important de réduire la consommation d'intrants en agriculture afin d'améliorer la qualité des eaux de surface. Les comparaisons entre les deux modes de culture ont été réalisées sur cinq paires de champs, localisées à différents endroits de l'état (pour tester les différences de climat et de sol). Dans chaque paire, les champs sont géographiquement proches et de la même taille. Il est apparu que les concentrations moyennes de nitrates dans les eaux de drainage des champs cultivés en méthode biologique étaient inférieures de 5 à 15 mg/L à celles des autres champs. De plus, si l'on considère la concentration moyenne pour les cinq sites, on obtenait 5,4 mg/L d'azote dans les champs biologiques et 11,3 mg/L dans les champs conventionnels. L'agriculture biologique apparaît donc comme une solution d'avenir ayant un fort potentiel pour réduire les concentrations d'intrants dans les eaux de surface de l'Illinois.

Suite à cela, un programme inter-disciplinaire de recherche sur la dynamique des engrais (*POND : Program on Nutrient Dynamics*) a été instauré. L'azote est souvent sur-appliqué car il est difficile d'estimer sa disponibilité en provenance de sources biologiques. D'autre part, il est souvent plus facile d'appliquer l'engrais durant l'automne ou l'hiver, lorsque les sols sont plus durs. Les plantes n'étant pas en phase de croissance à ce moment-là, une grande partie de l'azote appliqué se révèle inutile. Pour l'instant, les scientifiques n'ont pas d'estimations fiables des apports et des sorties

d'engrais alors qu'une telle base de données serait particulièrement utile pour étudier le transport des engrais à grande échelle. Le programme POND vise entre autres à développer une telle base, afin de formuler et de mettre en place des politiques de gestion de l'utilisation des engrais pour réduire leurs effets indésirables. Ce programme est très ambitieux et implique 10 départements de l'université. Selon Gregory McIsaac, *“l'agriculture a un rôle majeur dans la pollution par les nitrates, sauf peut-être près de Chicago où la pollution industrielle est plus forte. Cependant, depuis quelques années, on observe un effet de dilution suite à de plus fortes précipitations, ce qui contribue à faire croire que la qualité de l'eau s'améliore alors que ce n'est pas le cas.”*

Le professeur Walter Robinson du département des Sciences Atmosphériques participe également au programme POND. Selon lui, l'eau est de très bonne qualité dans l'Illinois sauf en ce qui concerne l'arsenic et les nitrates. Le problème de l'arsenic provient d'un dépôt naturel dû à la présence de charbon auquel il est souvent associé et concerne les aquifères. Par contre, au niveau des nitrates, il est difficile d'étudier leur contamination éventuelle pour les eaux souterraines. *“La dynamique d'un aquifère est très complexe à comprendre ; il est possible de le contaminer lorsqu'on réalise des pompages et d'autre part, il existe une corrélation entre la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface”*. La prise de conscience de la sur-utilisation des engrais en agriculture dans le Midwest a eu lieu au début des années 1990, lors de très fortes inondations qui ont entraîné le passage d'engrais dans le Mississippi puis dans le golfe du Mexique, provoquant ainsi une énorme anoxie bouleversant l'écologie des eaux du golfe.

Un autre domaine restant encore à explorer est celui du changement climatique. M. Ximing Cai du département *Civil and Environmental Engineering* réalise pour cela des modèles combinant modèles scientifiques et politiques afin de voir les effets de différents scénarios sur la qualité de l'eau dans différentes régions de l'Illinois. Aujourd'hui, on commence par exemple à irriguer le maïs alors que traditionnellement, celui-ci ne l'était pas dans cet état. Quelles vont être les implications de cette nouvelle demande, non prévisible il y a quelques années ? Les scénarios développés par ces modèles doivent être accessibles aux décideurs politiques ainsi qu'au public. *“On ne peut pas parler de durabilité aujourd'hui sans prendre en compte le changement climatique : ce dernier sera un grand défi dans les années à venir et l'agriculture en particulier devra s'adapter”*.

Cet exemple met bien en évidence la diversité des situations aux Etats-Unis. Selon leur contexte (climat, ressources, agriculture dominante ou non...), les régions ont différents problèmes à résoudre, à l'aide d'outils divers. L'étude de cas du Texas ne révèle donc en rien la situation de tous les états américains.

CONCLUSION GENERALE

Le Texas est aujourd'hui face à une situation préoccupante : l'agriculture, élément phare de son économie, pompe plus de 65% de sa ressource en eau (et 80% de ses ressources souterraines en particulier), sans parler de ses effets sur la qualité de la ressource. Economiser l'eau et combattre la pollution à la source seront donc des enjeux majeurs dans les années à venir.

Les questions majeures posées aujourd'hui relèvent essentiellement de la qualité des eaux de surface et de la quantité disponible d'eaux souterraines. Le réseau hydrographique texan est en effet très vulnérable aux ruissellements de nitrates provenant des champs cultivés mais un nouveau type de pollution est apparu depuis quelques années : les grands élevages hors-sol du centre de l'état contribuent à une importante contamination bactérienne des cours d'eau. Parallèlement, les cultures irriguées pompent les aquifères au-delà de leur capacité de recharge : à titre d'exemple, l'aquifère *Ogallala* s'épuise aujourd'hui 14 fois plus vite qu'il ne se reconstitue.

Les acteurs concernés sont multiples : agences fédérales ou locales, scientifiques, producteurs ou éleveurs, environnementalistes, citoyens... Tous ont leurs propres intérêts et un des principaux défis consistera à les faire travailler ensemble, ceci afin d'aboutir à une véritable coopération pour l'instant quasi-inexistante. On ressent aujourd'hui une grande diversité de programmes, soutenus par différentes agences, mais ces dernières ne semblent pas agir en coordination. Ainsi, les solutions mises en oeuvre se résument souvent à des exemples locaux, et sont généralement curatives plutôt que préventives.

Il existe pourtant un certain nombre d'alternatives possibles aujourd'hui (agriculture de précision, dessalement, compostage des déchets... pour ne citer que les plus avancées) mais leur développement reste à promouvoir. *"Aujourd'hui, les technologies sont là mais la volonté ne l'est pas"*, confirmait Valeen Silvy du TWRI lors de notre rencontre. Le problème de l'eau dans le domaine agricole au Texas est devenu un problème de société plutôt qu'un problème technique. Des enjeux nouveaux, qui n'ont plus rien de scientifiques, apparaissent. Une véritable lutte s'engage entre les municipalités et les agriculteurs pour le transfert des eaux souterraines des zones rurales vers les grands pôles urbains. Cependant, l'agriculture étant tellement importante au niveau de l'économie texane, il est bien évident qu'un accès à la ressource devra être réservé aux producteurs. Devant ces nouvelles perspectives, les enjeux que sont la dépollution et la conservation de l'eau ont parfois tendance à s'effacer bien que certaines solutions soient parfois mises en place localement.

Un atelier de travail franco texan organisé par la Mission pour la Science et la Technologie du Consulat Général de France à Houston et le Centre de l'Union Européenne de l'Université *Texas A&M* doit se tenir les 1^{er} et 2 novembre 2004 à *College Station*, en association avec le TWRI. Il devrait contribuer à remettre certaines des problématiques précédemment citées au goût du jour tout en favorisant la rencontre de scientifiques américains et français autour du thème de l'eau et l'agriculture. Cette rencontre doit se focaliser sur quatre points :

- ✓ la gestion durable et à long terme des eaux souterraines
- ✓ l'hydrologie des bassins versants et les problèmes d'érosion des sols
- ✓ l'eau et la santé, notamment en raison des contaminations bactériennes issues des élevages hors-sol
- ✓ l'irrigation de précision

Ceci pourrait éventuellement aboutir à d'éventuels partenariats entre les différentes institutions de recherche de part et d'autre de l'Atlantique.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier M. Denis Simonneau, Consul Général de France à Houston ainsi que tout le personnel du Consulat pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Je remercie tout particulièrement M. Pierre Dauchez et M. Georges Golla, Attaché Scientifique et Attaché Scientifique adjoint pour leur aide dans la réalisation de ce document.

Je remercie également tous les chercheurs avec qui j'ai pu m'entretenir et qui m'ont aidée dans mes recherches : Dr Allan Jones et Dr Valeen Silvy du Texas Water Resources Institute, Dr Dana Porter de l'université Texas A&M à Lubbock, Dr Sandra McLellan du Great Lakes WATER Institute et Dr Gregory McIsaac, Dr Walter Robinson et Dr Ximing Cai de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Texas Water Development Board (janvier 2002) – Water for Texas, 2002
- [2] C.Ottombre (septembre 2003) – L'eau potable aux Etats-Unis, Etude de cas du Texas, Mission pour la Science et la Technologie, Consulat Général de France à Houston
- [3] G.Fipps & L.Leon New (2000) – Improving the efficiency of center pivot irrigation with LEPA, Department of Agricultural Engineering, Texas A&M University System
- [4] G.Fipps & L.Leon New (2000) – Center Pivot Irrigation, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University System
- [5] H.Kaufman, T. Wheeler, P. Dotray, W. Keeling (2001) – Remote sensing tools can add precision to your farming operation, The Agriculture Program, Texas A&M University System
- [6] Q.Xue, M.D.Lazar, G.Piccinni, C.D.Salisbury, B.A.Stewart (1997) – A simplified system for understanding drought resistance in wheat, Dryland Agriculture Institute, West Texas A&M University
- [7] T.Lebreton-Cluzel (septembre 2003) – Quelques aspects de la dépollution et de la potabilisation de l'eau aux Etats-Unis, Mission pour la Science et la Technologie, Consulat Général de France à Houston
- [8] B. Lesikar, R.Kaiser & V.Silvy (juin 2002) - Questions about Groundwater Conservation Districts in Texas, Texas Cooperative Extension
- [9] Texas Groundwater Protection Committee (janvier 2003) – Activities of the Texas Groundwater Protection Committee, Report to the 78th Legislature, TCEQ publication SFR-047
- [10] Texas Groundwater Protection Committee (février 2003) - Texas Groundwater Protection Strategy, TGPC publication AS-188
- [11] Texas Groundwater Protection Committee (juin 2003) – Joint Groundwater Monitoring and Contamination Report – 2002, TCEQ publication SFR 056/02
- [12] Texas Water Development Board (2002) – An assessment of water conservation in Texas
- [13] Texas Water Development Board (août 2001) – Surveys of irrigation in Texas, TWDB Report 347
- [14] Texas Commission on Environmental Quality (1999) – Texas non-point source pollution, Assessment Report and Management Program
- [15] Texas Commission on Environmental Quality (octobre 2003) – Draft Texas Non-Point Source Pollution Assessment Report and Management Program

SITES INTERNET

Agences :

- Environmental Protection Agency : www.epa.gov
- US Geological Survey : www.usgs.gov
- National Agricultural Statistical Service : www.nass.usda.gov
- Texas Department of Agriculture : www.agr.state.tx.us
- Farm Service Agency : www.fsa.usda.gov
- Texas Water Development Board : www.twdb.state.tx.us
- Texas Commission for Environmental Quality : www.tnrcc.state.tx.us
- Texas Parks and Wildlife Department : www.tpwd.state.tx.us
- Texas State Soil and Water Conservation Board : www.tsswcb.state.tx.us
- Texas Alliance for Groundwater Districts : www.texasgroundwater.org
- Texas Groundwater Protection Committee : www.tgpc.state.tx.us
- Texas Water Resources Institute : <http://twri.tamu.edu>
- Texas Agricultural Statistical Service : www.nass.usda.gov/tx

Texas A&M University System :

- Texas A&M University at College Station : <http://tamu.edu>
- Water Resources Education : <http://texaswater.tamu.edu>
- Texas Evapotranspiration Website : <http://texaset.tamu.edu>
- Irrigation Technology Center : <http://itc.tamu.edu>
- Rio Grande Basin Initiative : <http://riogrande.tamu.edu>
- Irrigation Districts Engineering and Assistance : <http://idea.tamu.edu>
- Precision Agriculture Department : <http://precisionagriculture.tamu.edu>
- Nutrient Management Program : <http://nmp.tamu.edu>
- Texas Cooperative Extension : <http://texaswater.tamu.edu>
- The Agriculture Program : <http://agroprogram.tamu.edu>
- Dryland Agriculture Institute : www.wtamu.edu/research/dryland

Autres :

- Texas *on line* : www.texasonline.com
- Texas Environmental Profile : www.texasep.org
- Texas Water Matters : www.texaswatermatters.org
- The Irrigation Association : www.irrigation.org

ANNEXES

Annexe 1 : Utilisation et ressources en eau au Texas en 2000

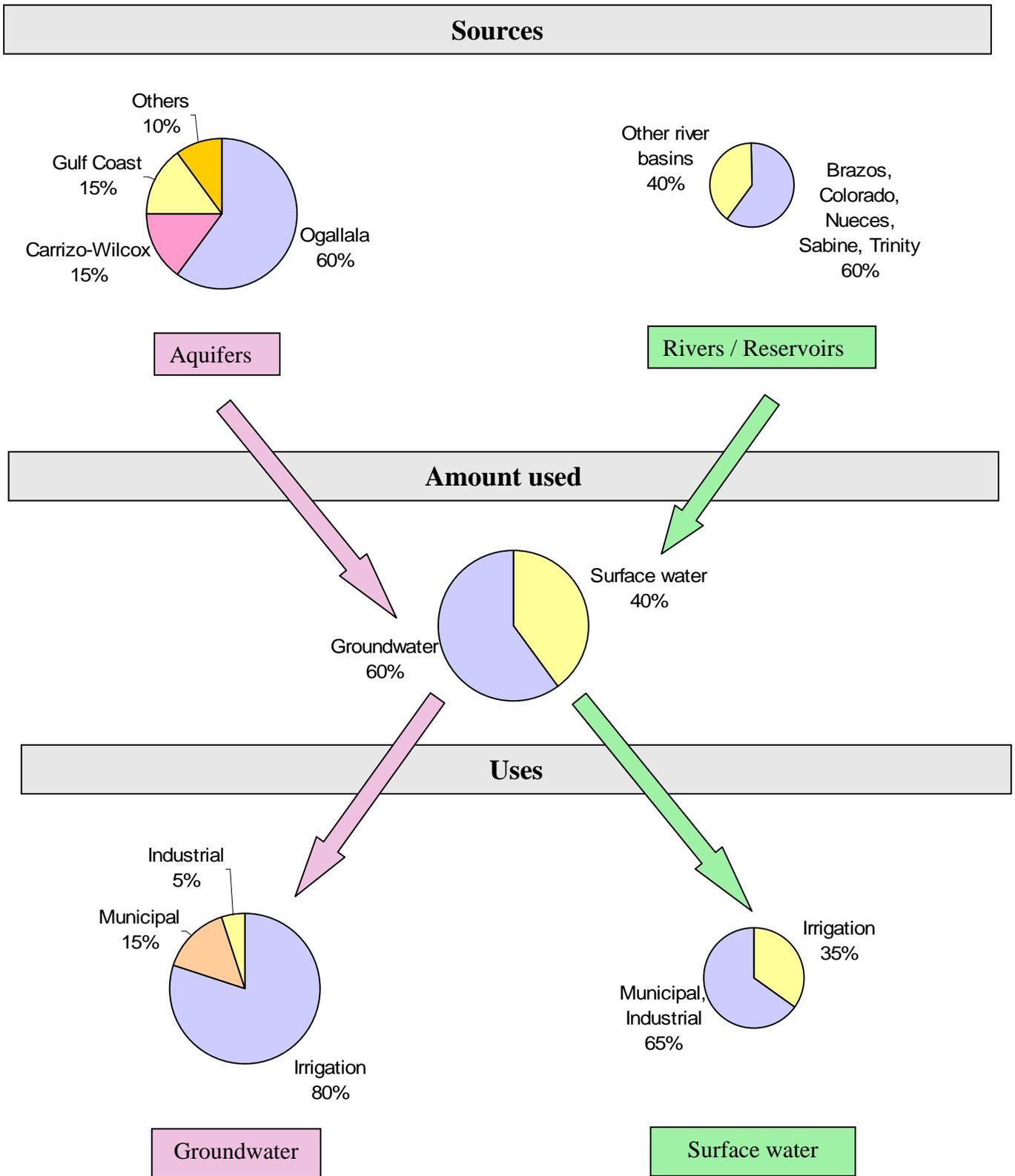
Annexe 2 : Carte des districts de conservation des eaux souterraines au Texas

Annexe 3 : Carte des 16 groupes de gestion régionaux au Texas

Annexe 4 : Situation et contexte du bassin de la rivière *North Bosque*

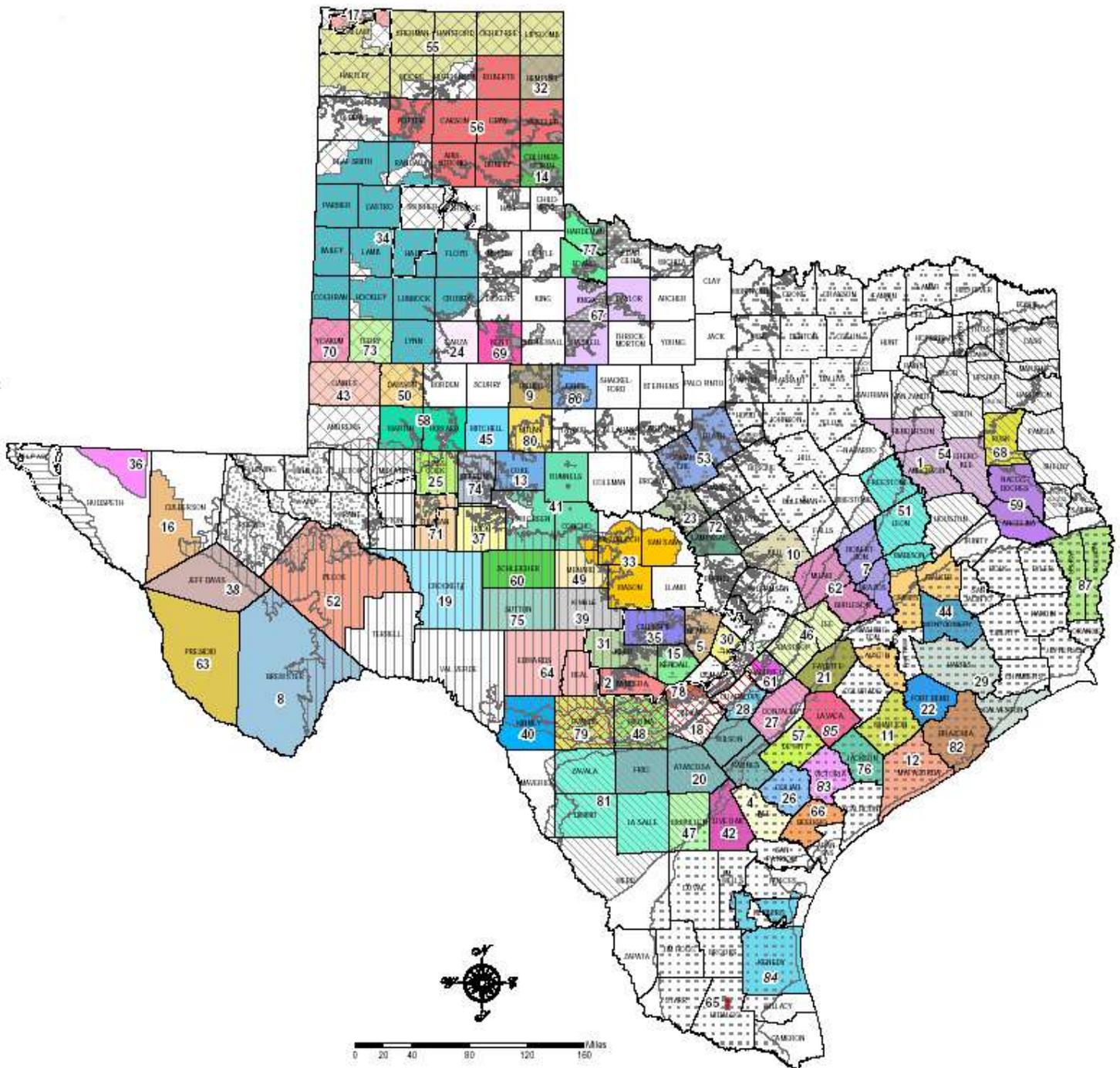
Annexe 5 : Organigramme de l'Agriculture Program, *Texas A&M University System*

Annexe 1 : Utilisation et ressources en eau au Texas en 2000



Source : B. Lesikar, R.Kaiser & V.Silvy (Juin 2002) - Questions about Groundwater Conservation Districts in Texas, Texas Cooperative Extension

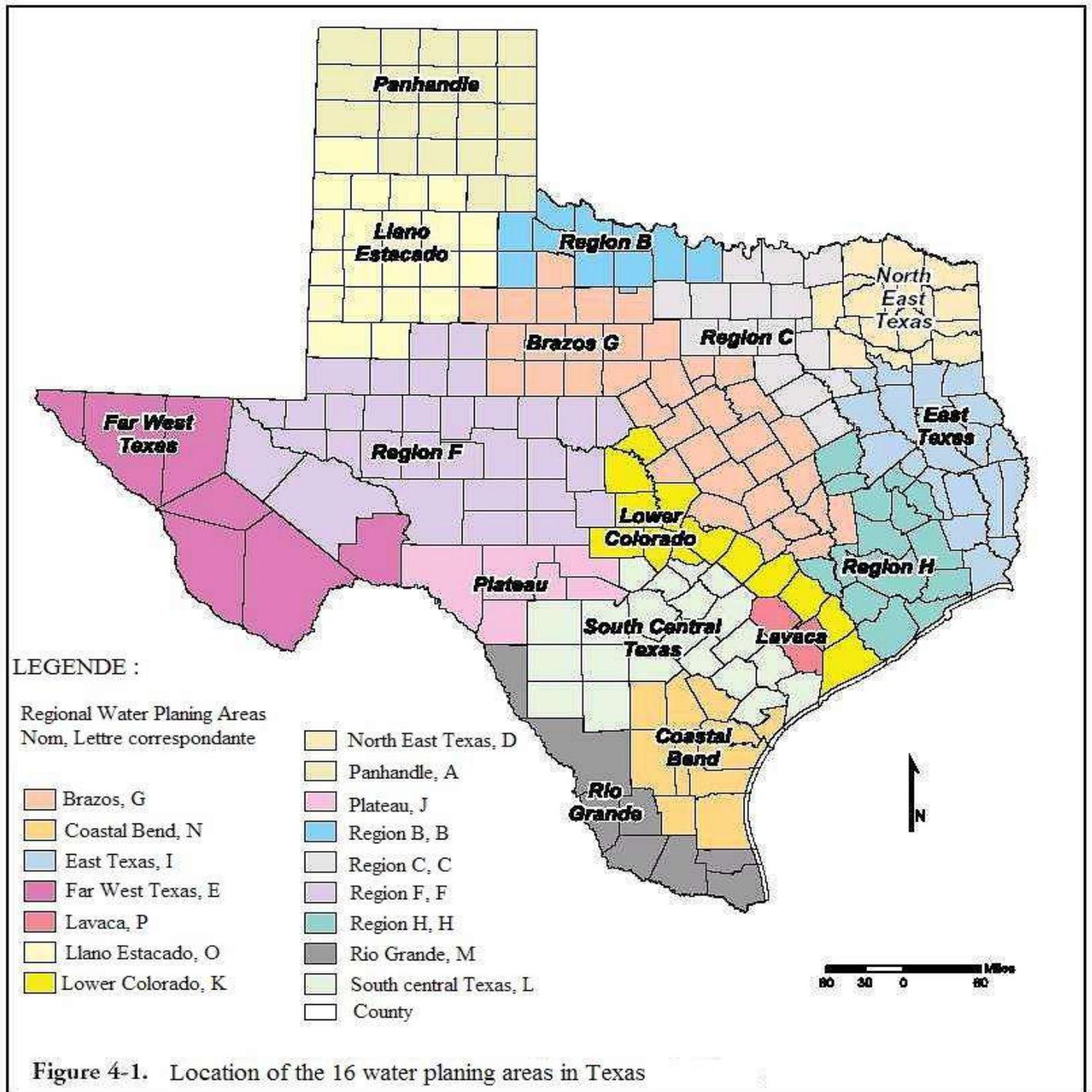
Annexe 2 : Carte des districts de conservation des eaux souterraines au Texas



Les 80 premiers districts sont déjà en place tandis que les suivants sont en train de développer leur projet.

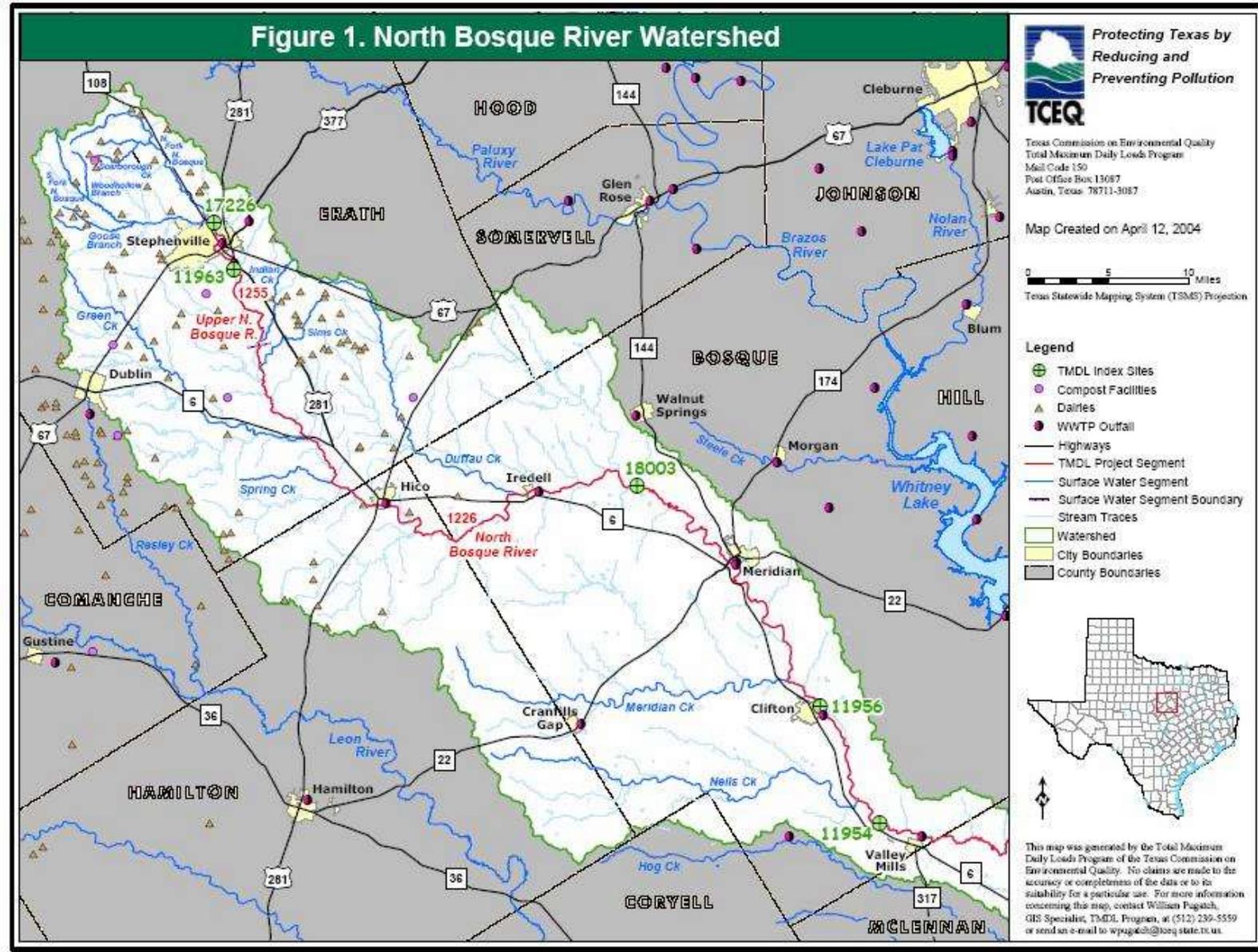
Source : www.tnrcc.state.tx.us

Annexe 3 : Carte des 16 groupes de gestion régionaux au Texas



Source : www.twdb.state.tx

Annexe 4 : Situation et contexte du bassin de la rivière North Bosque



Source : www.tnrcc.state.tx.us (TNRCC est l'ancien nom de la TCEQ qui a été conservé pour les adresses web).

Annexe 5 : Organigramme de l'Agriculture Program, Texas A&M University System

