

Chapitre 4

Quelles sont les politiques de gestion des eaux souterraines en agriculture dans les pays de l'OCDE ?

Ce chapitre passe en revue les politiques et les approches de la gestion des eaux souterraines en agriculture dans les pays de l'OCDE. Les réponses à un questionnaire de l'OCDE adressé aux pays sont exploitées afin d'examiner la diversité des moyens d'intervention utilisés aux niveaux national et régional. Une analyse est également menée au niveau régional pour déterminer si le choix des instruments de gestion peut être associé aux caractéristiques et contraintes spécifiques des systèmes de gestion des eaux souterraines utilisées à des fins agricoles.

Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Principaux messages

Les politiques et les approches suivies par les pays de l'OCDE pour gérer l'utilisation des eaux souterraines en agriculture sont très diverses. C'est ce qui ressort d'une enquête menée auprès des 34 pays membres de l'OCDE, qui ont fourni 20 réponses exploitables. Les politiques de gestion des eaux souterraines sont fondées sur des systèmes juridiques différents ; elles sont axées sur la demande, sur l'offre ou sur les deux ; et elles mettent en œuvre des approches directes ou indirectes de la gestion à caractère réglementaire, économique ou collectif.

Des différences existent aux niveaux national, régional et infrarégional, et l'on ne constate que peu de similitudes générales entre les pays.

Les approches réglementaires de la gestion, les plus courantes, servent de base pour d'autres instruments, mais les spécificités des différents systèmes de droits d'utilisation varient aussi largement, en nature et en portée, par rapport aux mécanismes d'allocation.

Au niveau régional, rien ne permet d'établir clairement une relation entre l'ampleur globale des approches de gestion (définie comme le nombre d'approches suivies pour maîtriser l'utilisation des eaux souterraines) et l'intensité des pressions exercées sur les eaux souterraines (correspondant aux pressions agro-climatiques et aux externalités) ; on observe en revanche des similitudes entre groupes de régions. Certaines régions de l'OCDE confrontées à des pressions relativement fortes sur les ressources en eau souterraine ont recours à une gamme complète d'instruments de gestion de ces ressources (économiques, réglementaires, directs, indirects, etc.). D'autres régions, soumises à des degrés de pression tout aussi élevés, utilisent beaucoup moins d'instruments, et certaines des régions où les pressions sont les moins fortes appliquent un éventail relativement large d'instruments.

L'analyse montre aussi que certains instruments de gestion sont partiellement corrélés à des contraintes spécifiques. Les approches économiques et axées sur l'offre sont plus fréquentes dans les zones où les pressions de l'agriculture sur les eaux souterraines sont les plus fortes.

Comment infléchir ces politiques pour améliorer la gestion des eaux souterraines en agriculture ? Pour remédier aux fortes pressions exercées sur les ressources en eau souterraine et aux externalités qui en découlent dans les régions de l'OCDE, des réformes seront sans doute nécessaires. Le chapitre 5 s'appuiera sur les conclusions de ce chapitre et du chapitre 3 pour proposer des recommandations pour l'action destinées à faciliter la mise en place d'un modèle de gestion plus durable des eaux souterraines.

Une analyse fondée sur les résultats d'une enquête de l'OCDE de 2014 sur les approches en matière de gestion des eaux souterraines

Le présent chapitre traite du rôle que peuvent jouer les politiques publiques dans les pays de l'OCDE pour favoriser la gestion durable des ressources en eau souterraine dans l'agriculture. Si un certain nombre de pays de l'OCDE utilisent les eaux souterraines à des fins agricoles, d'autres en revanche sont richement dotés et y font peu appel, ou connaissent la problématique inverse d'une sous-exploitation des ressources hydrogéologiques. Même au sein du premier groupe, les situations régionales sont très variées, reflétant le degré d'utilisation de ces ressources, l'existence ou non d'une surexploitation ainsi que la présence d'externalités et leur intensité (chapitre 2). On cherchera dans ce chapitre à déterminer si ces diverses contraintes peuvent faire l'objet de trains de mesures adaptés.

Un certain nombre d'articles, de chapitres d'ouvrages et de rapports ont été publiés sur les politiques relatives aux eaux souterraines et à l'agriculture, mais ils se concentrent souvent sur des pays ou régions spécifiques (voir, par exemple, Grafton et al., 2014 ; Shah, 2008 ; de Stefano et Llamas, 2012). Garduño et Foster (2010) ont tiré des enseignements transversaux des expériences de multiples régions pratiquant l'irrigation à partir d'eau souterraine, mais ils se sont intéressés à des pays en développement principalement hors de l'OCDE. L'étude internationale de Morris et al. (2003) a envisagé l'utilisation des eaux souterraines sous un angle beaucoup plus large avec une faible perspective sur l'agriculture. Par ailleurs, plusieurs publications comparent les politiques de deux pays ou régions (par exemple, Scott et Shah, 2004), élargissent les enseignements provenant d'un pays à des situations plus générales (Garrido et al., 2006) ou combinent des recueils de chapitres sur l'expérience de plusieurs pays (par exemple, Giordano et Villholth, 2007). Le présent chapitre vise à compléter cette littérature en proposant une comparaison transversale multi-pays des stratégies d'intervention au sein de l'OCDE.

Ce chapitre, basé principalement sur l'analyse des réponses à un questionnaire de l'OCDE lancé au cours de l'été 2014, évalue l'état des ressources et leur utilisation en agriculture et recense les politiques pertinentes aux niveaux national et régional. Le questionnaire s'articulait en trois parties, la première fournissant des informations d'ordre général aux répondants. La deuxième partie portait sur la caractérisation de l'état des ressources hydrogéologiques et de leur utilisation dans l'agriculture aux niveaux national et infranational, essentiellement en vue d'alimenter le chapitre 1. Les répondants devaient sélectionner une à quatre unités régionales (appelées "régions" dans la suite) pour lesquelles ils pouvaient apporter de plus amples informations sur l'utilisation des eaux souterraines et sur les contraintes associées. La dernière partie concernait la présence d'un large éventail d'instruments (tableau 3.1) susceptibles d'influer sur les ressources en eau souterraine. Le questionnaire complet est disponible sur demande.¹

Ce questionnaire a été envoyé aux délégués des 34 pays de l'OCDE et de l'Union européenne. Comme indiqué dans le tableau 4.1, 27 pays ont communiqué au moins des réponses partielles. Parmi ces derniers, sept pays n'ont pas fourni d'informations utilisables suffisantes sur leurs politiques (soit à cause de l'absence de politique, soit du fait d'accès partiel à l'information), de sorte que l'on dispose de réponses exploitables provenant d'un ensemble de vingt pays de l'OCDE. Treize de ces pays ont fourni au moins quelques renseignements sur 27 régions hydrogéologiques agricoles.

Les réponses au questionnaire sont complétées par des informations provenant d'une analyse détaillée des publications disponibles sur la gestion des eaux souterraines en agriculture, tirant des exemples de régions utilisant les eaux souterraines pour l'irrigation. Naturellement, chacune de ces régions présente des caractéristiques spécifiques et ne représente donc pas de solutions nécessairement répliquables ou généralisables à plus grande échelle.

La prochaine section passe en revue les approches suivies dans les pays de l'OCDE en matière de gestion des eaux souterraine en agriculture, en s'appuyant sur les catégories d'instruments présentées dans le tableau 3.1 du chapitre 3. La section suivante montrera plus précisément si le choix de mesures dans ces pays correspond aux défis à relever par les systèmes de gestion des eaux souterraines en agriculture, en se basant sur les réponses données au niveau régional.

Tableau 4.1. Couverture des réponses reçues au questionnaire de l'OCDE sur les eaux souterraines¹

Pays	Région	Politiques
Australie	Grand bassin artésien, bassin Murray-Darling	Limitées
Autriche		
Canada		Non
Chili		
Corée	Île volcanique de Jéju	
Danemark	Jutland occidental	
Espagne	Mancha Occidental ; Campos de Montiel ; Almonte-Marismas ; et Mancha Oriental.	
Estonie		
États-Unis	Aquifère des Hautes Plaines du Nord (NHPA) ; Aquifère des Hautes Plaines du Sud (SHPA) ; région de l'Aquifère alluvial du Mississippi (MAA) ; et région des Montagnes et du Pacifique Ouest (MPW).	
Finlande		
France	Nappe de Beauce et Département de la Vienne	
Grèce		Non
Irlande		Non
Israël	Galilée occidentale	Partielles
Italie	Pouilles, Campanie (Ufita)	Limitées
Japon	Kinugawa Seibu ; Noubiheiya Seibu ; et Kikuchi Heiya	
Mexique	Región Lagunera	
Pays-Bas	Meuse (Nord-Brabant), bassin de la Meuse "sableuse" (Zandmaas) (Limburg), bassin du Rhin-Est (Gelderland) et bassin du Rhin-Est (Overijssel).	
Pologne		Non
Portugal	District hydrographique de Tejo e Ribeiras do Oeste	
République slovaque		
République tchèque		
Royaume-Uni		Non
Slovénie		Non
Suède		
Suisse		Non
Turquie	Bassin du Küçük Menderes	Limitées

1. Questionnaire de l'OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Un large éventail d'approches de la gestion des eaux souterraines en agriculture

Gestion axée sur la demande : Des démarches essentielles communes, des instruments divers

Des différences de statut juridique et de caractéristiques des droits d'utilisation qui sont principalement le fruit de traditions juridiques

Les lois adoptées dans le cadre de législations plus générales sur l'eau englobent généralement les eaux souterraines (Mechlem, 2012). Les approches retenues peuvent être fragmentées, et répondre à des préoccupations qualitatives ou quantitatives, ou plus globales, mais les efforts tendent de plus en plus à combiner toutes les législations sur les eaux de surface et les eaux souterraines (Mechlem, 2012).

Dix-neuf des 20 pays ayant répondu au questionnaire ont fait état de réformes au niveau national concernant les eaux souterraines, dont 15 au cours des dix dernières années. Les États membres de l'Union européenne ont transposé en droit national la directive-cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE), qui prescrit la gestion quantitative des ressources hydrogéologiques, ainsi que la directive sur les eaux souterraines (2006/118/CE), qui traite en particulier des problèmes de qualité. Comme expliqué ci-dessous, ces deux textes définissent les grandes lignes des plans globaux de gestion des eaux souterraines au niveau régional.

La réforme des dispositifs d'allocation de l'eau peut être déclenchée par différents facteurs, dont la pénurie d'eau et les risques écosystémiques (OCDE, 2015c). De même, les modifications spécifiques des politiques relatives aux eaux souterraines peuvent être la conséquence de crises et/ou de conflits. Deux préoccupations principales sont à l'origine des récentes modifications apportées aux politiques régissant les eaux souterraines dans les pays membres de l'OCDE : l'épuisement à long terme des aquifères et les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (par exemple, McCarl et al., 1999 ; Scanlon et al., 2012). Aux États-Unis, les litiges en cours et l'évolution rapide des institutions de gestion des ressources en eau témoignent des préoccupations suscitées par les externalités liées au pompage des eaux souterraines (Hathaway, 2011 ; McKusick, 2002). Les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines ont également contribué dans une mesure très importante à la modification des politiques régissant l'utilisation des eaux souterraines (Kuwayama and Brozović, 2013 ; Palazzo and Brozović, 2014) ; ces flux peuvent, d'une part, donner lieu à des difficultés juridiques transfrontalières portant sur les allocations des bassins versants et, d'autre part, avoir un impact sur les habitats des cours d'eau et sur d'autres écosystèmes tributaires des eaux souterraines (voir, par exemple, McKusick, 2002 ; Delaware River Basin Commission, 2008).

L'utilisation des eaux souterraines fait généralement l'objet de licences, de permis ou de droits, définis de manière générique dans le présent rapport comme la permission de prélever et d'utiliser les eaux souterraines d'un système aquifère conformément aux dispositions des textes juridiques pertinents (voir le glossaire en fin de rapport). Ces droits d'utilisation, qui constituent la pierre angulaire de la plupart des approches réglementaires de la gestion des eaux souterraines, "l'élément central des lois sur l'eau souterraine" (Mechlem, 2012), se sont avérés essentiels pour réduire leur surexploitation (Kemper, 2007). L'eau souterraine peut relever de la propriété publique ou privée, ce qui influe sur la façon dont sont alloués, et potentiellement utilisés, les droits sur l'eau.

Le statut juridique de la propriété de l'eau souterraine varie d'un pays ou d'une région à l'autre au sein de l'OCDE. Contrairement aux eaux de surface, les eaux souterraines demeurent traditionnellement dans le domaine privé dans de nombreux pays (OCDE, 2010a et 2015c). Douze des 22 réponses nationales ou régionales figurant dans la première colonne du tableau 4.2² y associaient une propriété au moins partiellement privée³. En outre, la propriété de l'eau souterraine est en général liée à la propriété foncière, contrairement à l'eau de surface, qui est souvent déconnectée de la terre et très majoritairement détenue par la puissance publique (par exemple, 88 % de propriété

publique d'après OCDE, 2015c). Du fait de ses caractéristiques, définies localement et par rapport à des terres spécifiques, l'eau souterraine est légalement appropriable par des acteurs privés, même si les organismes chargés de sa gestion sont souvent composés d'un collectif d'utilisateurs.

Bien qu'ils demeurent moins employés, les droits sur l'eau souterraine peuvent par ailleurs présenter des caractéristiques similaires à celles des droits sur l'eau de surface. Douze des régions ou pays répondants définissent des droits permanents, tandis que 13 ont recours à des droits de court terme. Le renouvellement des droits peut être associé à des échéances, souvent variables selon le type d'utilisation de l'eau (OCDE, 2015c). En particulier, certains pays fixent généralement des limites périodiques spécifiquement pour les prélèvements destinés à l'irrigation (par exemple, 12 ans en Autriche) et d'autres types de limites pour d'autres utilisations. Sept des réponses notent que ces droits sont transférables, ce qui peut impliquer tout simplement la possibilité de transférer la propriété des permis, par exemple dans le cadre d'un changement de propriété de la terre, ou ouvrir la porte à des transactions ou des marchés potentiels. Les bénéficiaires de droits sur l'eau souterraine sont essentiellement des individus, parfois des entreprises ou des organismes collectifs dans les quelques pays qui l'autorisent.

Nombre des systèmes mentionnés de droits sur l'eau souterraine sont effectivement attachés à des droits fonciers, une situation peu répandue dans le cas de l'eau de surface. L'association des droits sur l'eau souterraine aux droits de propriété peut compliquer davantage la gestion de la ressource car elle laisse moins de liberté d'action aux utilisateurs (OCDE, 2015c). Dans le même temps, on trouve ce même lien historique dans de multiples régions pour d'autres ressources souterraines. Mechlem (2012) fait état d'une tendance au niveau mondial à dissocier les droits sur l'eau souterraine des droits fonciers et à s'orienter vers une propriété publique des ressources, sur lesquelles les utilisateurs peuvent faire valoir des droits d'utilisation. Cependant, ce type de réforme n'est toujours pas d'actualité dans un certain nombre de pays de l'OCDE.

En examinant ces différentes catégories —les trois premières colonnes du tableau 4.2— on peut voir émerger quelques tendances peu marquées autour d'un groupe de pays ou régions appliquant des droits individuels privés sur l'eau souterraine, comme l'Autriche, le Japon et les régions de l'Aquifère alluvial du Mississippi (MAA) et des Montagnes et du Pacifique Ouest (MPW) (États-Unis), et d'un autre groupe aux statuts et caractéristiques multiples, comme le Chili, la Corée, le Mexique et les régions des aquifères des Hautes Plaines du Nord (NHPA) et du Sud (SHPA) (États-Unis). D'un autre côté, la France recourt à des droits permanents publics individuels. Il semble que ces statuts et caractéristiques soient davantage le fruit de traditions juridiques que de considérations physiques sur les diverses caractéristiques hydrogéologiques.

Au-delà de leur nature, le système d'allocation des droits sur l'eau est déterminant pour envisager tant le principe de fonctionnement que l'équité des systèmes de gestion des eaux souterraines. Quatre grandes doctrines ont été appliquées dans les systèmes de gestion occidentaux (Joshi, 2005 ; Peck, 2007 ; Wichelns, 2010) : la propriété absolue (aussi appelée "règle de capture" ou "règle anglaise") ; l'usage raisonnable ; les droits corrélatifs ; et l'appropriation préalable (voir le glossaire pour les définitions complètes). On trouve également de multiples sous-catégories, aux caractéristiques mixtes. Le tableau 4.2 montre qu'une fois encore, diverses approches sont employées dans les pays de l'OCDE. L'encadré 4.1 illustre les diverses doctrines appliquées aux États-Unis.

Chacune de ces doctrines présente des avantages et des inconvénients, en termes de degré de liberté des propriétaires et de coûts administratifs de la mise en œuvre (Peck, 2007). La doctrine de la propriété absolue est plus simple à appliquer et affiche les coûts publics de gestion de l'eau les plus faibles, mais elle peut engendrer des conflits et une insécurité des approvisionnements (Joshi, 2005). Elle peut aussi tirer à la baisse le coût d'accès à cette ressource par rapport aux eaux de surface, ce qui pourrait conduire dans certains cas au tarissement des cours d'eau (voir, par exemple, OCDE, 2010b).

L'usage raisonnable encourage la prise en compte des dommages causés aux voisins, mais dépend de termes spécifiques et de l'interprétation de ce qui est raisonnable. Les droits corrélatifs favorisent une gestion plus régionale tandis que l'appropriation préalable, si elle soulève des questions d'équité, permet la réglementation des puits.

Tableau 4.2. Caractéristiques des droits sur l'eau souterraine par région ou pays répondants

Propriété	Durée et caractéristiques des droits	Bénéficiaires des droits	Doctrines à la base de l'allocation
Privée : Autriche, Japon, Portugal ; régions MAA et MPW.	Permanents Chili, Corée, France, République slovaque, Royaume Uni, Suède, Turquie ; Bassin Murray-Darling (Australie), régions NHPA, SHPA, MAA et MPW.	Individus Autriche, Chili, Corée, Finlande, France, Israël, Japon, Mexique, Portugal, République tchèque, Suède ; Mancha Occidental, Campos de Montiel, et Almonte-Marismas et Mancha Oriental (Espagne), Bassin Murray-Darling (Australie), régions NHPA, SHPA, MAA et MPW.	Propriété absolue Chili ; région MPW.
Publique : Espagne, Estonie, France, Pays-Bas ; Bassin Murray-Darling (Australie).	Temporaires Autriche, Chili, Corée, Espagne, Estonie, Israël, Mexique, Pays-Bas, Portugal, République slovaque, République tchèque, Royaume Uni, Suède, Turquie ; Nappe de Beauce (France).	Organismes collectifs Autriche, Chili, Finlande, Israël, Mexique, Portugal, République tchèque, Suède ; Mancha Occidental, Campos de Montiel, Almonte-Marismas (Espagne), Bassin Murray-Darling (Australie).	Usage raisonnable Corée, Espagne, Estonie, Finlande, France, Mexique, Portugal, Suède ; régions SHPA, MAA et MPW.
Les deux : Chili, Corée, Danemark, Mexique, Suède ; régions NHPA et SHPA.	Attachés à des droits fonciers : Corée, Finlande, Israël, Japon, Royaume-Uni, Suède ; Département de la Vienne et Nappe de Beauce (France), Bassin Murray-Darling (Australie) ; Régions NHPA, SHPA, MAA et MPW.	Entreprises Autriche, Chili, Finlande, Israël, Mexique, Portugal, République tchèque, Suède ; Almonte-Marismas (Espagne), Bassin Murray-Darling (Australie), Régions NHPA, SHPA, MAA et MPW.	Droits corrélatifs : Chili, Estonie, Finlande, France, Israël ; Bassin Murray-Darling (Australie), régions NHPA et MPW.
Autre ou aucune : Canada, Finlande, République slovaque, République tchèque, Turquie.	Transférables : Chili, Corée, Espagne, Mexique ; Bassin Murray-Darling (AUS) ; Régions NHPA et SHPA.	Autres : Chili, Finlande, République slovaque	Appropriation préalable : Chili, France, Suède ; régions SHPA et MPW.

Note : NHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Nord (États-Unis) ; SHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Sud (États-Unis) ; MAA : Aquifère alluvial du Mississippi (États-Unis) ; MPW : Montagnes et Pacifique Ouest (États-Unis).

Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Les liens entre la propriété de l'eau, les droits sur l'eau et les droits de propriété foncière sont importants pour comprendre la portée et les limites des politiques publiques relatives à l'utilisation des eaux souterraines en agriculture. Une vaste proportion des terres sert à l'agriculture dans les pays de l'OCDE. Si le droit d'utilisation des eaux souterraines est directement associé à la terre, mathématiquement, l'agriculture sera nécessairement mieux dotée que les autres secteurs utilisateurs. Mais cela implique aussi que les ressources hydrogéologiques auront vraisemblablement une incidence sur la valeur et l'utilisation des terres. Comme on le verra plus en détail ci-dessous, cela explique aussi pourquoi un certain nombre d'instruments relatifs à l'eau souterraine ciblent les terres plutôt que l'eau souterraine ou l'agriculture.

Encadré 4.2. Gestion des eaux souterraines à l'échelle des sous-bassins hydrographiques : la directive-cadre européenne sur l'eau de 2000

La directive-cadre européenne sur l'eau réponds à plusieurs objectifs quantitatifs et qualitatifs concernant les eaux de surface et les eaux souterraines. Les éléments centraux des composantes de la Directive relatifs aux eaux souterraines concernent la définition de masses d'eau souterraine au sein de districts hydrographiques dans lesquels l'eau souterraine utilisée fera l'objet d'une surveillance et d'une réglementation afin d'atteindre un "bon état quantitatif et chimique" d'ici à 2015. Plus spécifiquement, les pays de l'UE devront :

- *définir des masses d'eaux souterraines au sein de chaque district hydrographique national ;*
- *créer des registres des zones protégées au sein de chaque district ;*
- *mettre en place des réseaux de surveillance des eaux souterraines pour évaluer l'état et l'évolution des masses d'eau souterraine afin d'atteindre un bon état quantitatif et chimique ;*
- *établir des plans de gestion des bassins hydrographiques, renseignant sur l'état des eaux souterraines et rendant compte des pressions exercées sur les masses d'eau souterraine, qui seront publiés en 2009 et 2015 ;*
- *appliquer le principe de récupération des coûts aux services liés à l'utilisation de l'eau pour 2010 ;*
- *élaborer un programme de mesures visant à atteindre les objectifs écologiques pour 2012, y compris par exemple des mesures de contrôle de l'extraction d'eau souterraine et de la recharge artificielle.*

Comme noté au chapitre 1, le bon état quantitatif est défini comme "[l]e niveau des eaux souterraines dans la masse d'eau souterraine tel que le taux de prélèvement moyen annuel à long terme n'excède pas la ressource hydrogéologique disponible. Par conséquent, le niveau des eaux souterraines ne subit pas de modification d'origine anthropique de nature à conduire à a) la non-réalisation des objectifs de qualité écologique des eaux de surface associées fixés dans la DCE, b) une diminution significative de l'état de ces eaux, et c) une dégradation significative des écosystèmes terrestres dépendant directement de cette masse d'eau souterraine. Une inversion de la direction des flux sous l'effet des variations de niveau peut se produire de façon temporaire, ou de façon continue dans une zone géographiquement limitée, sans toutefois entraîner d'intrusion d'eau salée ou d'autre type, ni indiquer une tendance durable et clairement identifiée de modification de la direction des flux imputable aux activités anthropiques qui soit susceptible d'induire de telles intrusions." Ces objectifs englobent donc la réduction de la surexploitation et la prise en charge des externalités associées à l'utilisation des eaux souterraines.

En 2009, 11 897 masses d'eau souterraine avaient été identifiées et évaluées par les 19 pays de l'OCDE membres de l'Union européenne disposant de rapports officiels cette année-là (Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Hongrie, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni, République slovaque, République tchèque, Slovénie et Suède). Cependant, on ne disposait d'aucune information pour une proportion importante de masses d'eau.

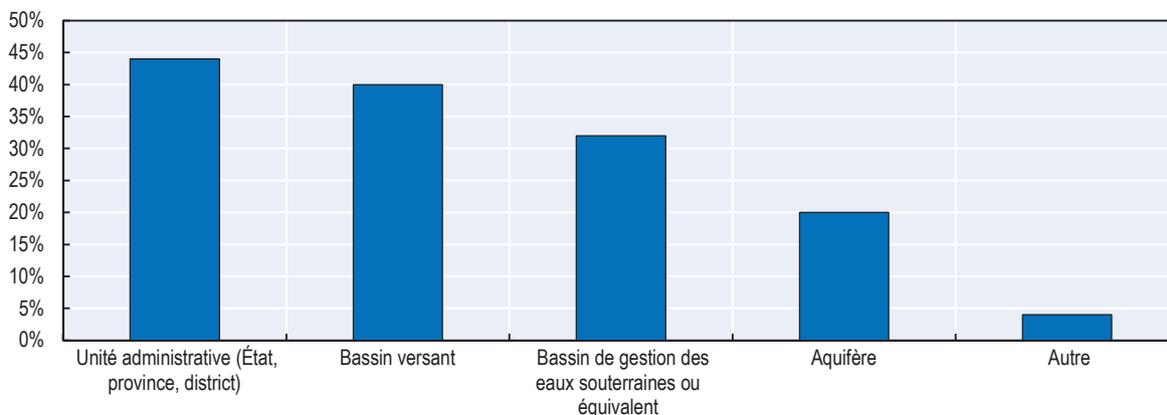
La directive européenne sur les eaux souterraines de 2006, révisée en 2014, porte principalement sur la qualité, l'objectif étant de prévenir la pénétration de polluants et d'autres substances dangereuses. D'autres directives européennes prévoient des dispositions supplémentaires concernant la qualité applicables aux eaux souterraines (par exemple, la directive Nitrates et la directive Produits pharmaceutiques, qui s'intéressent spécifiquement aux problèmes de qualité de l'eau imputables à l'agriculture).

Source : CE (2000), CE (2006), IEE MED (2007), <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/framework.htm>.

Les eaux souterraines relèvent de la responsabilité de différents types d'institutions. Sept des 20 pays répondants désignent les ministères de l'environnement, des ressources naturelles ou équivalents, un pays l'administration centrale, un autre pays une agence nationale de l'eau et quatre pays des institutions locales ou régionales de l'eau⁴. Dans la plupart des autres pays, de multiples autorités nationales sont chargées d'un aspect ou d'un autre de la gestion des eaux souterraines — par exemple, six aux États-Unis (*US Geological Survey, US Environmental Protection Agency, US Department of Agriculture, US Bureau of Reclamation, US Army Corp of Engineers, US Bureau of Land Management*), trois en Italie et au Portugal, quatre en Corée — une situation qui peut nécessiter une coordination interinstitutions difficile à réaliser. Dans le même temps, la gestion des eaux souterraines est au moins en partie déléguée au niveau régional, le type de région ou d'institution divergeant toutefois largement, dans tous les pays répondants, comme le montre le graphique 4.2. Plus de 30 % des répondants mentionnent des régions administratives, des bassins hydrographiques, ou des organismes de gestion des eaux souterraines. Certains mécanismes innovants peuvent également

prévoir une coresponsabilité dans la gestion, comme dans le cas de l'aquifère de la Mancha Oriental, de la Catalogne et du bassin du Duero en Espagne (Lopez-Gunn et al., 2012b).

Graphique 4.2. Échelons géographiques de la gestion infranationale des eaux souterraines dans les pays répondants



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

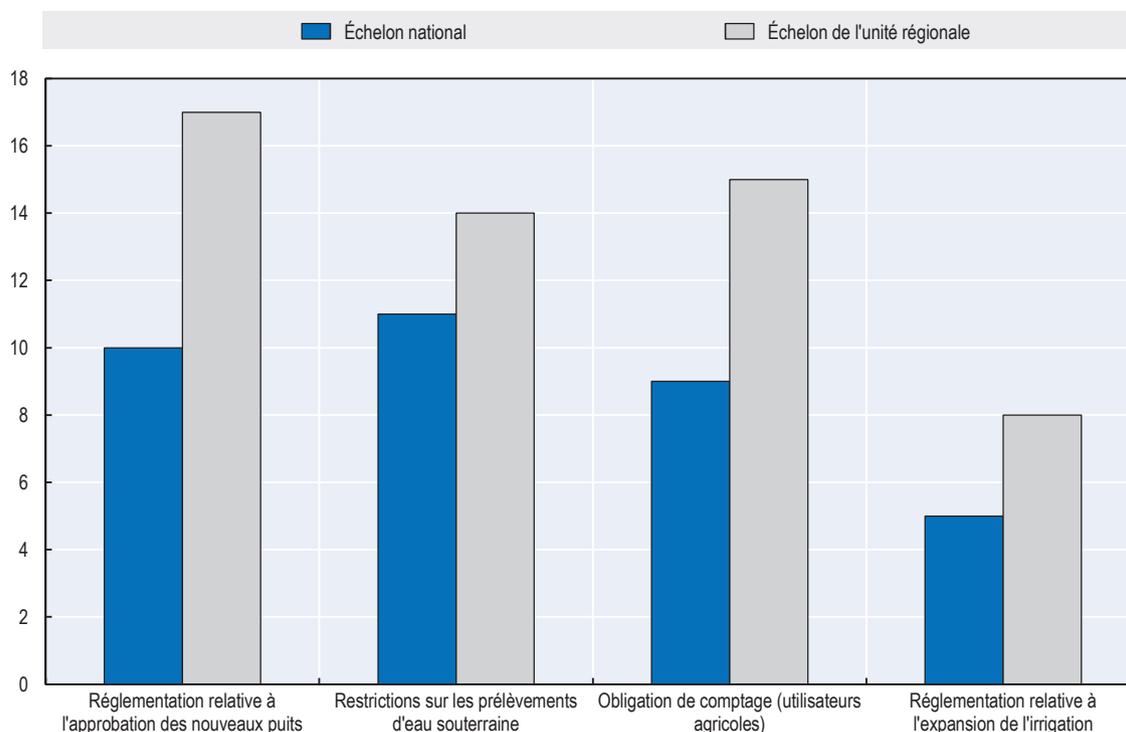
Ces plans de gestion ne couvrent pas spécifiquement l'agriculture. En réponse à une question subsidiaire, 56 % des pays répondants ont déclaré que l'agriculture constituait un utilisateur majeur, voire le principal utilisateur, d'eau souterraine dans au moins une de ces régions. Ces pays figurent parmi ceux qui ont le plus recours aux eaux souterraines pour l'irrigation dans la zone OCDE (chapitre 1) : Australie, Corée, Espagne, Grèce, Italie, Japon, Mexique et Portugal. Dans une grande majorité de réponses nationales (80 %), il est noté que la gestion des eaux souterraines est au moins en partie couplée à celle des eaux de surface. Ce couplage est systématique pour la plupart des pays ou régions ayant mis en place des plans de gestion obligatoires, mais on trouve des exceptions. Les pays dépourvus de plans de gestion peuvent aussi avoir des connexions systématiques, et certaines régions où les plans de gestion sont obligatoires n'associent les deux types de ressources que de façon limitée.

Dissocier la gestion des eaux de surface et celle des eaux souterraines est considéré comme l'une des principales sources des problèmes liés à la gestion des eaux souterraines (voir, par exemple, OCDE, 2010a). Historiquement, les législations sur l'eau se sont d'abord concentrées sur les eaux de surface, les eaux souterraines étant moins visibles et soumises à une pression moindre ; mais alors que certains pays ont évolué, d'autres sont restés à la traîne (Mechlem, 2012). Le refus d'associer les eaux de surface et les eaux souterraines dans la prise de décision, constaté notamment en Espagne, a été attribué à quatre causes : le manque de capacités humaines et technologiques, les limites de la législation sur l'eau, les contraintes sociales et bureaucratiques et les facteurs politiques (Llamas, 1975). Cette séparation s'est traduite par une mauvaise gestion des eaux souterraines (Llamas, 2004). Dans leur étude internationale d'économie politique sur la gestion des eaux souterraines dans les pays semi-arides, Garrido et al. (2006) ont considéré qu'il s'agissait du premier stade de l'élaboration de politiques, par lequel étaient passés l'Espagne, l'Inde, le Mexique et, aux États-Unis, la Californie, le Texas et l'Arizona (chapitre 1).

Trois dispositions réglementaires sont généralement envisagées dans les plans ou les cadres juridiques : elles portent sur les puits, le comptage et les prélèvements. En parallèle, ou lorsqu'il n'est pas possible de soumettre les eaux souterraines à ce type de réglementation, on peut également recourir à des instruments réglementaires indirects par le biais de restrictions sur les terres irriguées. Le graphique 4.3 recense les approches retenues dans les régions et pays répondants. La

réglementation sur les puits au moyen de permis ou d'autorisations est l'approche la plus fréquemment employée ; viennent ensuite les restrictions quantitatives (quotas) et les obligations de comptage. La réglementation sur l'expansion de l'irrigation arrive en dernière position. Toutes ces réglementations sont plus courantes au niveau régional qu'à l'échelon national. Cinq pays répondants déclarent que ces réglementations sont en vigueur au niveau régional plutôt qu'à l'échelon national (Australie, Danemark, États-Unis, Japon et Pays-Bas), ce qui indique de potentielles spécificités infranationales des prescriptions.

Graphique 4.3. Nombre de pays ou régions de l'OCDE appliquant des réglementations spécifiques aux eaux souterraines



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Plus particulièrement, les réglementations relatives à l'*approbation des nouveaux puits* régissent l'espacement des puits et les évaluations environnementales dans la plupart des réponses (respectivement 70 % et 67 % de l'ensemble des réponses). Les règles d'espacement des puits peuvent s'avérer une garantie contre les interférences entre puits et le tarissement des cours d'eau, si elles sont mises en œuvre en bonne connaissance de ces phénomènes. Leur application peut également varier selon les conditions et les contraintes locales ; c'est ainsi qu'aux États-Unis, l'espacement requis peut aller de 300 pieds (100 m) ou moins au Texas à 4 miles (6.4 km) dans certaines parties de l'aquifère Dakota au Kansas (Brozović et al., 2006). Les évaluations environnementales peuvent aller plus loin et tenir compte des externalités potentielles découlant du nouveau puits et de son utilisation pour l'approbation ou le rejet des propositions ; mais comme dans d'autres domaines, leur portée et leurs méthodologies sont importantes, tout comme le rôle de la participation du public et la transparence. Dans la province de l'Île-du-Prince-Édouard, Canada, un débat politique lancé en 2014 sur l'utilisation de puits profonds pour la culture de pommes de terre mais la situation est finalement restée au point mort (voir encadré 4.3). Dans le bassin Murray-Darling en Australie, l'utilisation des eaux souterraines est conditionnée à l'évaluation des incidences sur les tiers, à une évaluation des

impacts environnementaux et aux utilisations actuelles et passées (OCDE, 2014b). En France, l'autorisation de prélever de l'eau souterraine est soumise à une étude d'impact réalisée par le Préfet, et est révoquée en cas de pénurie d'eau (OCDE, 2010a).

Encadré 4.3. Quand les visions s'affrontent autour des permis de puits : le cas des pommes de terre dans l'Île-du-Prince-Édouard (Canada)

En 2002, l'Île-du-Prince-Édouard a instauré un moratoire sur les puits de grande capacité destinés à l'irrigation agricole, dans l'attente des résultats d'une étude d'impact sur leurs incidences potentielles. Ce moratoire, qui devait initialement prendre fin en 2003, a été prolongé à maintes reprises. En 2013, les études réalisées par le ministère de l'Environnement, du Travail et de la Justice de la province ont montré que le taux de recharge annuel des nappes souterraines de l'île s'élevait à 2 km³ par an et les prélèvements à seulement 0.14 km³ par an, soit 7 % de la recharge. Ce résultat s'est accompagné d'un nouveau calcul de l'impact sur la ressource en eau qui, au lieu d'un ratio par rapport à la recharge, donnait un taux maximum de 35 % du débit de base (débit minimal provenant d'un aquifère).

En 2013, après un troisième été relativement sec, le Comité de la pomme de terre de l'Île-du-Prince-Édouard et Cavendish Farm Inc. se sont appuyés sur cette nouvelle donnée pour solliciter la levée du moratoire de manière à utiliser l'eau souterraine pendant les épisodes de sécheresse, en complément d'irrigation sur 30 000 acres (env. 12 000 ha) de champs de pommes de terre, à hauteur d'un maximum déclaré de 15 millions de m³ par an. Le Comité était soutenu par la Fédération de l'agriculture de l'Î.-P.-É. dans l'idée que cette mesure s'imposerait afin de préserver la "viabilité économique" du secteur de la transformation de la pomme de terre à l'avenir. D'après une étude commandée par le Comité, le secteur de la pomme de terre représentait une activité économique d'1 milliard CAD, soit 9 % du PIB de la province.

Cette demande a soulevé l'opposition de plusieurs groupes de la société civile et de défense de l'environnement, dont la Fédération de la faune et de la flore de l'Île-du-Prince-Édouard (*PEI Wildlife Federation*) et l'Alliance du bassin hydrographique de l'Île-du-Prince-Édouard (*PEI Watershed Alliance*), soutenues par des biologistes et des écologistes de l'île et d'ailleurs. Selon ses opposants, cette mesure entraînerait l'épuisement des nappes souterraines et des conséquences négatives sur les sources, cours d'eau et écosystèmes dépendants des eaux souterraines. Ils s'inquiétaient également du ruissellement accru des pesticides, qui tuait des poissons chaque année, de la pollution des eaux souterraines par les nitrates et de l'érosion. La Fédération du saumon de l'Atlantique émettait également des réserves et demandait plus d'informations.

Le ministère de l'Environnement a invoqué la première étude contre le moratoire, mais le débat s'est poursuivi après le début de la période de végétation 2014. En juin 2014, le gouvernement provincial a annoncé le maintien du moratoire dans l'attente du vote d'une nouvelle loi sur l'eau qui couvrirait la gestion de toutes les ressources en eau, y compris souterraines. Au cours de l'été 2014, alors que McCain's Inc. annonçait la fermeture d'une grande usine de transformation de pommes de terre sur l'Île-du-Prince-Édouard, Cavendish Farm Inc. a menacé d'en faire de même, notant qu'aucune date n'était fixée pour l'adoption de cette nouvelle loi sur l'eau. Aucune décision n'avait été prise en septembre 2014.

Sources : McCarthy (2014) ; Sharatt (2014) ; Walker (2014) ; Wright (2014) ; Yarr (2014a, 2014b).

Les restrictions sur les prélèvements d'eau souterraine peuvent revêtir différentes formes ; il peut s'agir de quotas nationaux, régionaux ou locaux (servant parfois de base à des systèmes de plafonnement et d'échange) ; elles peuvent s'appliquer de manière permanente ou en période de pénurie, être variables d'une année à l'autre ou fixes et concerner spécifiquement le secteur agricole ou n'importe quel secteur. Les pays qui mettent en œuvre ces restrictions sont des pays aux profils hydrogéologiques généraux variés, allant de l'Europe du Nord à l'Asie, l'Europe méditerranéenne ainsi que l'Amérique du Nord et du Sud. Les modalités réglementaires spécifiques diffèrent aussi largement.

- Au Danemark, le prélèvement d'eau souterraine est limité à 35 % de la recharge totale, mais des restrictions supplémentaires appliquées localement par les municipalités s'y ajoutent, notamment pour les nouveaux systèmes d'irrigation (CE, 2012a).
- Les agriculteurs dans la nappe de Beauce (France) ont des quotas individuels qui sont fonction des caractéristiques hydrogéologiques locales (Montginoul et Rinaudo, 2013).
- Dans certaines provinces des Pays-Bas, les prélèvements d'eau souterraine ne sont autorisés que si les exploitations agricoles ont mis en place un plan de gestion (OCDE, 2010b).

- Dans la région de Waikato en Nouvelle-Zélande, les extractions totales sont limitées à un volume spécifié pour l'eau souterraine et à un pourcentage spécifié pour l'eau de surface (OCDE, 2014b). Ces deux limites sont définies dans le Plan régional sur l'eau de Waikato.
- Dans le bassin Murray-Darling en Australie, le Plan de bassin définit des niveaux écologiquement durables et fixe chaque année la limite globale pour les utilisateurs (OCDE, 2014b).
- Dans plusieurs États des États-Unis, la législation fixe le volume de prélèvement global, comme observé pour l'Autorité de l'aquifère Edwards au Texas (Mechlem, 2012), mais il existe des instruments hétérogènes :
 - Le district de l'Upper Republican (*Upper Republican Natural Resources District*) dans le Nebraska impose des quotas de pompage qui ont évolué au fil du temps (Fanning, 2012). Les allocations sont fixées pour des périodes de cinq ans, des reports étant autorisés sous réserve de contraintes supplémentaires, ce qui laisse une certaine latitude aux producteurs (car la demande d'eau à des fins agricoles varie dans une mesure importante selon que l'année est sèche ou pluvieuse).
 - Lorsque les eaux souterraines et les eaux de surface sont fortement connectées, l'utilisation d'eau souterraine est limitée aux niveaux actuels d'extraction et des quotas variables s'appliquent à l'eau de surface. En Californie, quelques districts soumis à des législations spéciales sont autorisés à réglementer les prélèvements d'eau souterraine (Hanak et al., 2014).
 - Au Kansas, des zones de contrôle de l'utilisation intensive d'eau souterraine peuvent être spécifiquement définies afin de prévenir le tarissement des cours d'eau via des restrictions sur les nouveaux permis ou sur les prélèvements ou d'autres mesures pertinentes (Sophocleous, 2010).

Le comptage permet de mesurer l'évolution des utilisations et d'aider les gestionnaires à réaliser une évaluation plus large. Il apporte de la transparence au public et sert de guide aux utilisateurs, y compris les agriculteurs, pour contrôler leur propre utilisation de la ressource, voire la comparer à celle des autres. Ainsi, le Portugal assure une surveillance mensuelle de la quantité d'eau souterraine —via son réseau piézométrique—, celle de la qualité étant assurée sur une base bisannuelle depuis 1979 (voir, par exemple, Ribeiro et Veiga da Cunha, 2010). Des rapports sur l'utilisation des ressources en eau sont établis depuis 1988 au Kansas, et leurs données servent aux organismes locaux, régionaux et nationaux pour suivre l'utilisation des eaux souterraines (Sophocleous, 2010). En Australie, dans l'État de Victoria, un outil en ligne permet aux propriétaires terriens de contrôler l'état des ressources (Worthington, 2014). Pour rester efficace, le comptage est souvent associé à des mesures de sanction⁵. En Australie, des employés rémunérés par l'État relèvent également les compteurs et les contrevenants sont frappés de lourdes amendes. Dans certains cas, le comptage est lié à d'autres politiques agricoles. Dans le cadre du Programme agricole commun de l'Union européenne, le versement de subventions est conditionné à la démonstration du respect des réglementations environnementales. Les producteurs utilisant des eaux souterraines pour l'irrigation doivent faire enregistrer leurs puits et installer des compteurs d'eau (Montginoul et al., 2014).

Les réponses au questionnaire montrent que l'obligation de comptage ne concerne pas les puits agricoles au Chili et en République tchèque et s'applique à ces puits dans la seule région MPW aux États-Unis, ce qui prouve que l'agriculture peut faire l'objet d'un traitement particulier dans les réglementations ou en être exclue. Des rapports sont publiés au moins une fois par an dans tous les cas, et une fois par mois dans deux régions japonaises et les quatre régions espagnoles. À l'exception

du Chili, tous les pays qui établissent des rapports fréquents estiment que leur réglementation sur le comptage est respectée.

Une question connexe concerne les puits illégaux ou non réglementés, qui sont courants dans certaines parties de l'Europe du Sud (OCDE, 2010a ; CEE-ONU, 2011)⁶. Le Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes (EASAC, 2010) rapporte que jusqu'à la moitié des puits pourraient ne pas être enregistrés ou être illégaux dans les pays d'Europe méditerranéenne. Le tableau 4.3 présente quelques estimations de l'ampleur du problème dans les régions agricoles⁷. D'autres pays comme le Mexique ont connu des cas d'utilisation non autorisée, facilitée en particulier par l'emploi de documents d'enregistrement de puits et de concessions falsifiés, qui pourraient représenter jusqu'à 50 % du total des autorisations de concessions dans la Vallée de Mexico (OCDE, 2013b).

Aborder ces questions reste difficile. En Espagne, les efforts entrepris pour recenser et enregistrer tous les puits dans les années 1990, pour un coût total estimé à 66 millions EUR, n'ont donné que des résultats partiels en 2001 (Fornes et al, 2007). Certains plans de gestion des bassins hydrographiques, comme celui du Guadalquivir, mentionnaient explicitement un objectif de lutte contre les prélèvements illégaux ; mais ils ne sont, à ce jour, pas parvenus à résoudre entièrement le problème, en partie en raison de la complexité des mesures à prendre pour les faire respecter et du faible impact des amendes et des conséquences juridiques (CCE, 2014 ; AEE, 2013). L'assurance sécheresse dans l'agriculture est avancée comme un moyen parmi d'autres de remédier au problème des puits illégaux dans les pays européens. Elle dissuaderait les agriculteurs de "lutter jusqu'à la dernière goutte" (Dionisio et Mario, 2014).⁸

Tableau 4.3. Nombre estimé de puits non autorisés ou illégaux dans certains pays

Pays	Région	Année	Estimation
Chypre	National	2012	50 000 forages
Italie	National	2006	1.5 million de puits non autorisés
	Région des Pouilles	2006	300 000 puits non autorisés
Malte	National	2007	18.5 millions de m ³ /an
Espagne	Bassin du Guadiana	2002	25 000
	National	2005	510 000 puits, 45 % d'eau souterraine ¹
	National	2005	puits illégaux dans 90 % des exploitations agricoles ³
	Mancha Occidental-Guadiana	2008	22 000 forages non autorisés
	Bassin du Guadalquivir	2006	10 000

1. Note de la Turquie :

Les informations figurant dans ce document qui font référence à "Chypre" concernent la partie méridionale de l'île. Il n'y a pas d'autorité unique représentant à la fois les Chypriotes turcs et grecs sur l'île. La Turquie reconnaît la République Turque de Chypre Nord (RTCN). Jusqu'à ce qu'une solution durable et équitable soit trouvée dans le cadre des Nations Unies, la Turquie maintiendra sa position sur la "question chypriote".

2. Note de tous les États de l'Union européenne membres de l'OCDE et de l'Union européenne :

La République de Chypre est reconnue par tous les membres des Nations Unies sauf la Turquie. Les informations figurant dans ce document concernent la zone sous le contrôle effectif du gouvernement de la République de Chypre.

3. Différentes sources.

Source : De Stefano et Lopez-Gunn (2012) ; Fornés et al. (2007) ; Hernandes-Mora et al. (2010).

Plus largement, la surveillance de l'utilisation des eaux souterraines en agriculture est imparfaite dans un nombre croissant de cas. Dans certains contextes, il est possible que les utilisateurs d'eau souterraine ne souhaitent pas divulguer d'informations sur le pompage pour des raisons stratégiques (comme observé dans l'Ouest des États-Unis, voir Christian-Smith et al., 2011). Cette situation, et d'autres raisons, ont favorisé le recours aux outils de surveillance satellitaires (Castaño et al., 2010, Famiglietti et al., 2011). Ainsi, la *Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental*, une association d'utilisateurs d'eau souterraine de la région espagnole de la Mancha Oriental, facture des redevances mensuelles sur l'eau souterraine aux producteurs individuels en s'appuyant sur l'imagerie satellitaire. Chaque producteur a droit à un quota, dont le non-respect estimé déclenche une inspection sur site et d'éventuelles amendes (Martin de Santa Olalla et al., 1999 ; Martin de Santa Olalla et al., 2003). Par ailleurs, un certain nombre de districts de gestion l'eau de la région des Hautes Plaines aux États-Unis ont introduit des réglementations sur la base des zones historiquement irriguées, par exemple dans le Nebraska (NE DNR et TPNRD, 2013).

Un intérêt croissant pour les approches économiques, notamment les mécanismes de marché

L'intérêt pour les instruments économiques s'accroît dans les pays de l'OCDE. En Australie, par exemple, l'accord intitulé *National Water Initiative*, qui a été signé par tous les États, régit la législation applicable aux eaux souterraines. En règle générale, l'Initiative implique une évolution vers une gestion économique des eaux, de sorte qu'un certain nombre de mesures incitatives concernant les eaux souterraines ont été mises en œuvre. Ces mesures peuvent être appliquées conjointement à des mesures de gestion des eaux de surface, comme dans le bassin Murray-Darling, ou de manière indépendante, comme dans le bassin de Gngangara (Skurray et al., 2012). Un certain nombre de zones de gestion des eaux souterraines des États-Unis, notamment en Californie, au Kansas, dans le Nebraska, en Oklahoma et au Texas ont également mis en place des systèmes de gestion à caractère incitatif pour la consommation d'eau souterraine à des fins agricoles (voir, par exemple, Wagner et Kreuter, 2004 ; NE DNR et URNRD, 2010 ; NE DNR et MRNRD, 2010 ; Donohew, 2013).

Dans les pays de l'OCDE, le recours à la *tarification* n'est pas aussi répandu pour les eaux souterraines que pour les eaux de surface (OCDE, 2010a). Seuls huit pays répondants déclarent imposer des redevances sur l'eau souterraine en cas de pompage, à savoir le Danemark, l'Estonie, la France, Israël, le Mexique, le Portugal, la République slovaque et la République tchèque⁹. L'Île volcanique de Jéju en Corée est la seule région répondante qui applique ces redevances. Parmi les huit pays, le Mexique et Israël prélèvent des redevances de pompage uniquement sur les utilisations agricoles, tandis que la République slovaque n'en applique pas aux prélèvements destinés à l'irrigation des terres agricoles. La France, le Mexique et le Portugal notent que les redevances prennent en compte la rareté de l'eau. Le Danemark impose une taxe sur l'eau pompée fondée sur les externalités (Calavatra et Garrido, 2010). Au Royaume-Uni, les redevances sur l'eau souterraine incluent une redevance unitaire pour les améliorations environnementales, indexée sur les impacts environnementaux (AEE, 2013). Six des 14 districts qui réglementaient les eaux souterraines en Californie avant l'adoption de la législation de 2014 appliquent des redevances sur le pompage d'eau souterraine, mais souvent à des tarifs réduits pour l'agriculture (Hanak et al., 2014).

Importante pour la gestion, la structure des systèmes de tarification varie, en outre, d'un pays à l'autre (Civita et al., 2010)¹⁰. L'OCDE (2010a) rapporte que la plupart des pays appliquent des frais fixes et des redevances au volume pour l'extraction d'eau souterraine lorsque les ressources sont partagées avec d'autres utilisateurs. Les pays européens recourent largement à ce type de système, avec toutefois des différences au niveau local. La Belgique applique une redevance volumétrique au-delà d'un certain seuil, les prix variant en fonction de l'aquifère et de la taxe sur la pollution (OCDE, 2010b). Le montant des redevances est, en outre, différent selon le lieu et l'utilisation. Par exemple, les districts de gestion de l'eau en Californie facturent entre 18 USD (Vallée de Santa Clara) et 140 USD

(Comté d'Orange) par acre-pied d'eau pompée dans l'agriculture et jusqu'à plus de 600 USD à 1 000 USD au-delà d'un certain plafond (Hanak et al., 2014). L'Allemagne applique une redevance de 0.0025 à 0.0026 EUR par mètre cube d'eau utilisée à des fins agricoles à Brême, en Basse-Saxe, tandis que l'État de Schleswig-Holstein pratique un tarif 100 fois plus élevé de 0.11 EUR/m³ pour les utilisations non domestiques (OCDE, 2015c). De même, la République tchèque impose une redevance de 0.07 EUR/m³ pour l'eau de boisson et de 0.11 EUR/m³ pour les autres utilisations (OCDE, 2012a).

Plusieurs types de *marchés de l'eau souterraine* sont envisageables (chapitre 2), reposant sur l'échange de droits sur l'eau souterraine, avec ou sans plafond, ou l'achat et la vente d'eau souterraine voire des terres situées au-dessus d'un aquifère de manière à contrôler son utilisation. En dépit de leurs avantages importants (Casey et Nelson, 2012 ; Garduño et Foster, 2010), seuls quelques marchés organisés de ce type sont en fonctionnement. On observe toutefois certaines formes de transactions de marché, au moins sur une base individuelle, dans plusieurs régions de l'OCDE.

- Le Chili, l'Espagne et le Mexique autorisent l'échange de droits sur l'eau ou le négoce d'eau souterraine pompée. Le Chili est l'un des pionniers des marchés de l'eau. Introduits dans sa Loi sur l'Eau de 1981, les marchés de l'eau de surface ont fait l'objet d'évaluations mitigées, mais on dispose de moins d'informations sur les mécanismes de ce type concernant l'eau souterraine. Au Mexique, un marché formel de l'eau souterraine a longtemps existé mais n'a pas été très actif (Scott et Shah, 2004). L'Espagne a instauré le négoce d'eau souterraine en 1999 mais, si elle dispose d'une expérience intéressante des marchés intra et interprovinciaux, mais si cette dernière manque de transparence (Garrido et al., 2012).
- Les régions hydrogéologiques aux États-Unis adoptent différentes approches de marché :
 - Dans la région NHPA, les droits sur l'eau peuvent être négociés et rachetés par des tiers, y compris par les pouvoirs publics. Par exemple :
 - Le district de l'Upper Republican au Nebraska autorise le transfert des droits de pompage d'eau souterraine (NE DNR et URNRD, 2010) et prévoit, en outre, un ajustement unidirectionnel (c'est-à-dire qu'on ne peut accroître l'utilisation d'eau totale même si l'eau se retire d'un cours d'eau) en fonction du tarissement des cours d'eau.
 - Plusieurs des *Natural Resource Districts* du bassin de la rivière Platte au Nebraska autorisent le transfert du droit certifié d'irriguer des superficies (Brozović et Young, 2014).
 - Les mécanismes de rachat sont autorisés dans les régions SHPA et MPW et l'achat d'eau souterraine suscite l'intérêt croissant des ONG de conservation, en particulier dans les zones de conservation sensibles (Casey et Nelson, 2012).
 - Au Kansas, le *Groundwater Management District n° 5* a créé une Zone de contrôle de l'utilisation intensive des eaux souterraines, qui est équipée de compteurs et où des allocations de pompage sont imposées, pour lesquelles des transferts sont autorisés. Une banque d'eaux souterraines permet d'effectuer ces transferts, mais ces derniers doivent donner lieu à de lourdes contreparties à des fins de préservation et font l'objet de procédures réglementaires complexes, qui imposent d'importants coûts de transaction.
 - En Arizona, les agriculteurs reçoivent des quotas d'utilisation d'eau souterraine — appelés "crédits pour annulation de droits sur l'eau souterraine" (*groundwater extinguishment credits*) — et peuvent obtenir des crédits négociables à hauteur de leurs quotas inutilisés (Casey et Nelson, 2012 ; Wichelns, 2010).

- Les marchés de l'eau souterraine dans les États de l'Ouest servent de mécanismes d'administration permettant d'allouer de nouveaux droits de pompage d'eau souterraine en retirant des allocations quantitatives équivalentes de droits sur l'eau de surface (appelée "*mitigation water*") – comme dans l'exemple du marché de la Deschutes Water Bank Alliance dans l'Oregon (Casey et Nelson, 2012).
- Il existe également des prérequis au négoce ; ainsi, certaines régions rurales de Californie dissuadent le négoce d'eau souterraine à des fins d'exportation hors du bassin afin de préserver la ressource, en imposant une étude d'impact environnemental avant d'autoriser la transaction (Casey et Nelson, 2012).
- En Australie, le négoce d'eau souterraine est autorisé, qu'il s'agisse de droits permanents sur l'eau ou d'allocations temporaires de droits sur l'eau. Alors que tous l'autorisent dans leur législation, seuls quelques États ont enregistré un quelconque négoce. Des échanges temporaires ont été observés au Queensland et en Australie-Occidentale, mais la plupart ont eu lieu en Nouvelle-Galles du Sud, qui possède de vastes aquifères alluviaux, compte un grand nombre de licences et connaît d'importants problèmes de pénurie d'eau (Casey et Nelson, 2012).
- Dans la région de Waikato en Nouvelle-Zélande, les transferts de permis (droits) sur les eaux souterraines sont autorisés sous la supervision du Conseil régional. L'échange repose sur des arrangements individuels entre les détenteurs de ces droits. Il nécessite un nouveau permis ou la modification du permis existant ainsi qu'une évaluation de l'effet de la modification, tâche effectuée sous le contrôle du Conseil (OCDE, 2014c)¹¹.

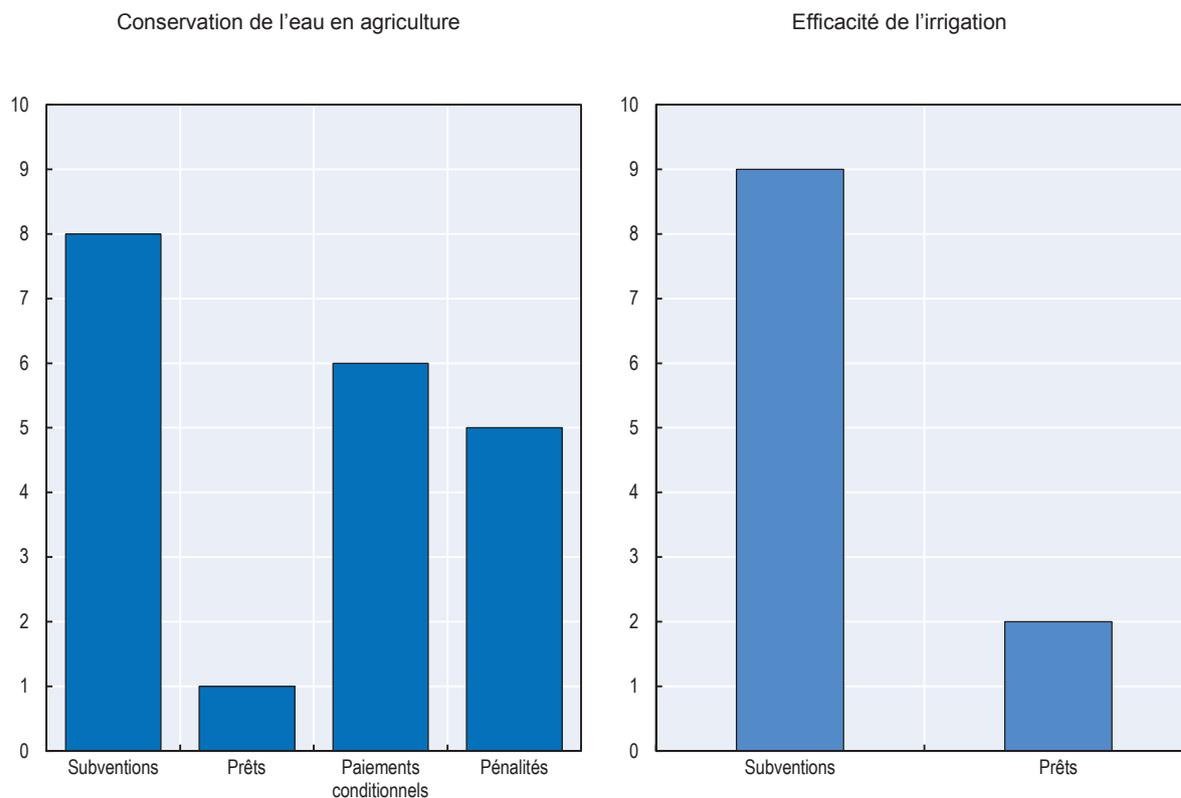
Même en l'absence de réels marchés de l'eau souterraine, les transactions peuvent indirectement concerner cette ressource. Le rachat de terres irriguées est observé en Corée et dans trois des quatre régions des États-Unis (régions NHPA, SHPA et MPW)¹². Dans le bassin Murray-Darling en Australie, les tiers sont autorisés à acheter des droits dans les zones où l'allocation totale excède ce que l'on considère être les "limites viables". Dans la République slovaque, les propriétaires fonciers sont tenus de payer des redevances pour utiliser les terres agricoles à des fins non agricoles, et le montant de ces redevances est supérieur pour les terres irriguées. Dans certains pays, les villes ont acheté des terres irriguées pour garantir la qualité des eaux souterraines (OCDE, 2015b). Les marchés de l'eau de surface peuvent également remplacer les marchés de l'eau souterraine, surtout en période de pénurie. Pendant la sécheresse de 2014 en Californie, par exemple, certains agriculteurs ont acheté de l'eau de surface pompée dans les aquifères d'agriculteurs voisins (Sommer, 2014).

D'autres politiques s'appuient sur des instruments économiques pour influencer indirectement sur l'utilisation d'eau souterraine dans l'agriculture, intentionnellement ou non. Les programmes de conservation de l'eau et d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation en agriculture s'appuient souvent sur des instruments fiscaux pour réorienter les incitations économiques vers une utilisation moins intensive des eaux souterraines. Le graphique 4.4 montre que, parmi les 21 répondants, huit subventionnent des programmes de conservation de l'eau et neuf l'efficacité de l'irrigation. Seuls quelques pays accordent des prêts pour améliorer l'efficacité de l'irrigation ou la conservation de l'eau. Le recours aux paiements conditionnels et aux pénalités comme alternative à la conservation est moins fréquent.

On trouve aussi d'autres instruments pour encourager l'efficacité de l'irrigation. Au Danemark, une taxe écologique s'applique à cette fin au pompage d'eau (OCDE, 2010b). Dans les quatre régions des États-Unis mentionnées dans le questionnaire, il existe des servitudes sur les terres irriguées. L'efficacité de l'irrigation peut également être couplée aux programmes nationaux de conservation de

l'eau en agriculture ; dans des zones données, les prélèvements d'eau souterraine sont liés à l'accroissement du degré d'efficacité de l'irrigation (Schaible et Aillery, 2012)¹³.

Graphique 4.4. Nombre de pays répondants déclarant des programmes de conservation de l'eau (cadre de gauche) ou d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation en agriculture (cadre de droite) ayant un impact sur les eaux souterraines



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

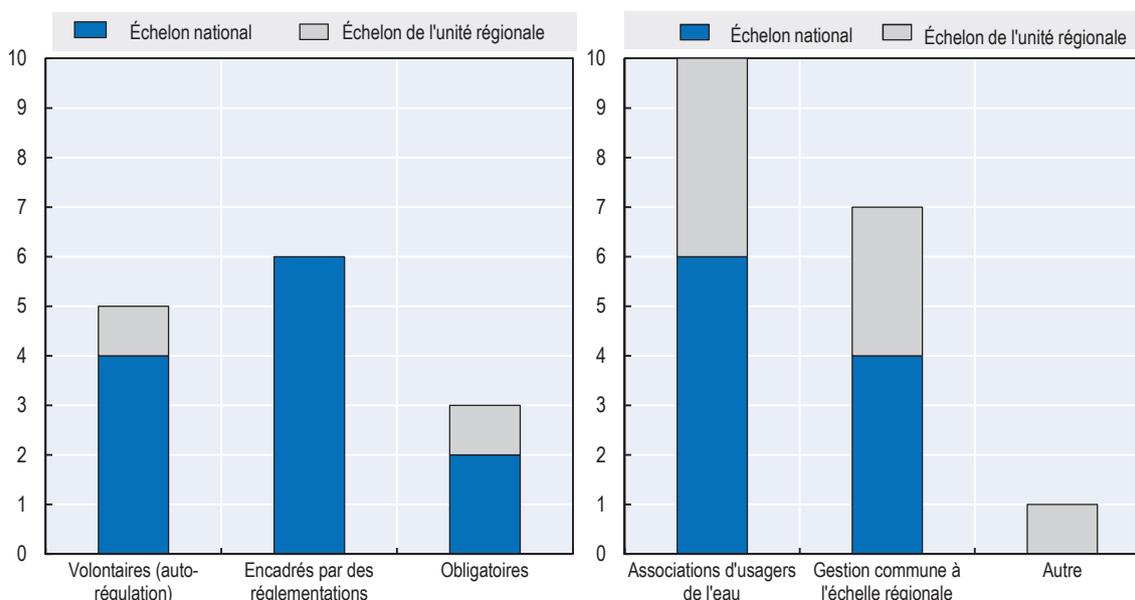
Utilisation partielle des approches de gestion collective, couvrant une diversité de dispositifs et de facteurs déterminants

Le questionnaire proposait trois types de facteurs d'influence et trois options représentant le type d'effort collectif. La première distinction oppose les mécanismes d'autorégulation volontaire à ceux créés sous l'action de facteurs externes, du cadre réglementaire ou de l'autorité publique. La deuxième distingue les associations d'usagers de l'eau, les initiatives de gestion commune à l'échelle régionale et d'autres mécanismes institutionnels. Les associations regroupent des utilisateurs d'eau souterraine de profils similaires (par exemple, des agriculteurs) qui collaborent ou contribuent déjà à la gestion des eaux souterraines. Les mécanismes de gestion commune à l'échelle régionale reposent en grande partie sur un échelon géographique ou administratif.

Comme le montre le graphique 4.5, seuls quelques pays signalent recourir à de tels mécanismes, mais les approches sont très variables. La plupart des dispositifs sont au moins encadrés par des réglementations, et des associations d'usagers de l'eau existent dans la plupart des régions et pays répondants. Toutefois, les réponses au questionnaire sont là encore très diverses, et par exemple trois pays ayant largement recours aux eaux souterraines pour l'irrigation ont adopté des approches différentes : le Portugal a des groupes volontaires, l'Espagne un cadre réglementaire et le Mexique rend obligatoire la constitution de groupes. Aucune configuration particulière ne se dégage ; on ne

peut établir de correspondance simple, car les pays ayant répondu à la première partie du questionnaire n'ont pas toujours renseigné la seconde et vice versa.

Graphique 4.5. Nombre de pays ou régions disposant de systèmes de gestion collective selon leur origine (cadre de gauche) et leur échelle (cadre de droite)



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Nombre de ces programmes ont vu le jour à partir des exemples fructueux des districts de gestion des eaux souterraines de l'ouest des États-Unis et ont ensuite été mis à l'essai en Espagne, au Mexique et dans d'autres pays, selon des modalités différentes (Shah et al., 2008). En voici quelques exemples.

- En Turquie, des coopératives d'irrigation à partir d'eau souterraine existent depuis 1966 et ont contribué à la gestion des ressources hydrogéologiques (DSI, 2009).
- En Italie, des comités ou des associations d'irrigation de droit public, financés par des redevances sur l'eau basées sur le principe de recouvrement des coûts, assurent l'approvisionnement en eau des utilisateurs (Civita et al., 2010).
- En Espagne, on dénombre environ 1 400 associations d'utilisateurs d'eau souterraine, dont l'objet est soit le partage de l'utilisation des puits ou groupes de puits, soit la gestion des ressources hydrogéologiques d'un aquifère (Hernandez-Mora et al., 2010). Aux États-Unis, des districts d'irrigation jouent le rôle d'associations d'usagers de l'eau.
- En Californie, dans certains bassins pratiquant l'allocation des droits sur l'eau par voie judiciaire, un mécanisme spécifique de gestion quasi-collective, l'examen des prélèvements et de la gestion de l'eau souterraine est autorisé pour tous les utilisateurs, sous la surveillance d'un "responsable de l'eau" (*Water Master*) légalement désigné (Cooley et al., 2009).
- Dans le nord-ouest du Kansas, un district de gestion des eaux souterraines qualifié de zone de gestion locale renforcée (*Local Enhanced Management Area – LEMA*) applique un dispositif autoréglementé ayant pour objectif de réduire l'allocation d'eau totale de 20 % par rapport aux quantités antérieurement utilisées.

Les systèmes de gestion collective ont été encouragés comme alternatives aux autres approches de la gestion qui n'atteignaient pas les résultats escomptés, en particulier dans les pays en

développement (Izquierdo et al., 2011 ; Wester et al., 2009). C'est ainsi qu'au Mexique, des comités techniques des eaux souterraines (COTAS) ont été établis afin de protéger et de restaurer les masses d'eau souterraine, en partant du principe que les programmes "centralisés" n'étaient pas parvenus à résoudre les problèmes liés à l'épuisement des nappes, en particulier dans les communautés agricoles aux revenus les plus faibles (OCDE, 2013b).

Quelques initiatives volontaires locales ont été fructueuses (FAO, 2011). À l'inverse, l'imposition de systèmes de gestion collective a donné des résultats mitigés. Le recours à des districts de gestion locaux dans certaines parties de la région des Hautes Plaines aux États-Unis permet d'appliquer les règles d'utilisation des eaux souterraines adoptées par les agriculteurs membres des conseils d'administration des districts en modulant ces dernières en fonction du site géographique considéré et, par conséquent, en les adaptant aux besoins locaux (par exemple, Nebraska DNR et URNRD, 2010 ; Nebraska DNR et MRNRD, 2010). En Espagne, la loi sur l'eau de 1985, qui a instauré la création de groupes d'usagers de l'eau chargés de gérer la "surexploitation" des aquifères, s'est avérée infructueuse dans de nombreux cas (Izquierdo et al., 2011), même si certaines associations ont réussi à créer des mécanismes internes de contrôle des prélèvements (Fuentes, 2011). Au Mexique, l'initiative des comités techniques des eaux souterraines n'a pas pu enrayer l'épuisement des nappes d'eau souterraine, peut-être en raison du manque d'autonomie dans la réglementation de l'eau souterraine (Shah, 2008 ; Wester et al., 2009).

Les récentes évolutions réglementaires semblent s'orienter vers des approches collectives encadrées de la gestion. L'application de la directive-cadre européenne sur l'eau a fait naître la nécessité d'établir des organismes de gestion des eaux souterraines afin d'évaluer et de rétablir l'état quantitatif des masses d'eau définies (Izquierdo et al., 2011). Les lois sur l'eau souterraine de 2014 adoptées en Californie tentent également d'apporter une solution intermédiaire en demandant aux districts de constituer des groupes de gestion locaux moyennant une intervention minimale ex-ante, mais des contraintes potentielles ex-post (si aucun groupement n'est formé et effectif).

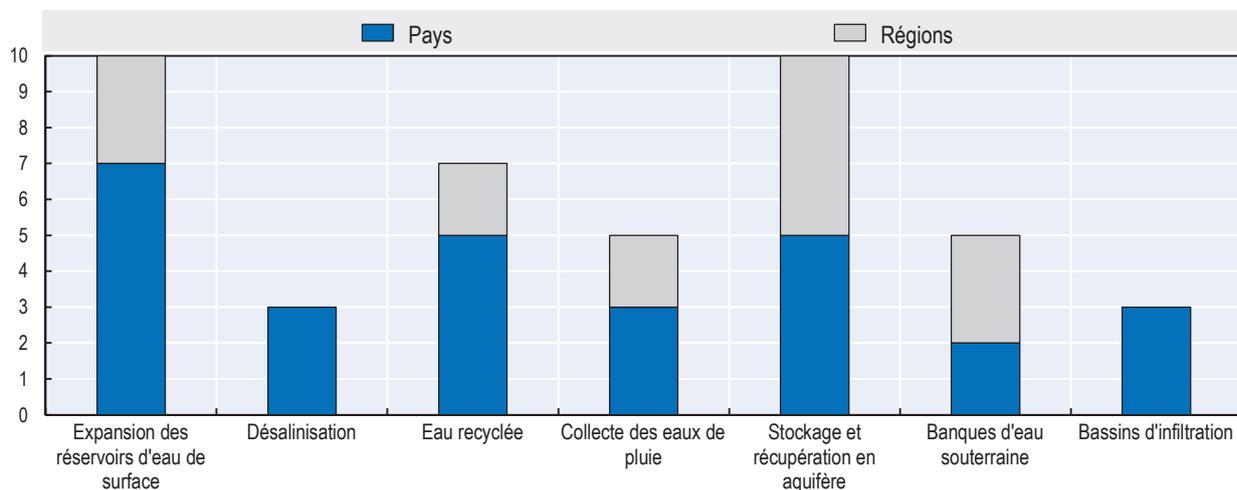
Approches axées sur l'offre : un intérêt croissant pour les solutions de stockage

Les pays de l'OCDE ont recours à plusieurs approches pour fournir des eaux de surface en complément des eaux souterraines ou pour assurer la recharge des aquifères. Le graphique 4.6 montre les réponses au questionnaire concernant quatre grandes approches axées sur l'offre et faisant appel aux eaux de surface (OCDE, 2011)—à savoir l'expansion des réservoirs d'eau de surface, la désalinisation, l'utilisation d'eau recyclée et la collecte des eaux de pluie — et trois solutions de stockage artificiel, à savoir le stockage et la récupération en aquifère, les banques d'eaux souterraines et les bassins d'infiltration.

Les solutions de stockage suscitent un intérêt croissant dans plusieurs régions. La constitution de banques d'eau, consistant à utiliser les aquifères comme réservoirs de stockage en vue d'une utilisation future, requiert des conditions hydrogéologiques adéquates ainsi que la définition et l'application convenables d'objectifs de gestion afin d'éviter les fuites (Maliva, 2013). Dans certains États de l'ouest des États-Unis, comme le Nevada, certaines parties de la Californie et l'Oregon, les banques d'eau constituent la base des marchés et facilitent le transfert et le stockage (Casey et Nelson, 2012). L'option du stockage et de la récupération en aquifère, qui implique également de constituer des stocks dans le double but "d'accroître les ressources hydrogéologiques et de récupérer l'eau dans le futur pour diverses utilisations" (US EPA, 2014), est peut-être plus cohérente avec des objectifs à long terme plus larges des pouvoirs publics. La région de la Toscane en Italie a lancé des programmes de recharge artificielle qui ont donné des résultats encourageants (Civita et al., 2010). Les bassins d'infiltration peuvent servir d'outil de recharge des nappes aquifères dans le cadre des banques d'eau ou du stockage et de la récupération en aquifère, ou tout simplement de moyen de recharger les nappes sans qu'il soit prévu de surveiller l'utilisation et la réutilisation de la ressource. Le

graphique 4.6 montre que chacune de ces alternatives est mise en œuvre dans au moins trois pays ou régions.

Graphique 4.6. Programmes axés sur l'offre privilégiant les sources d'approvisionnement en eau alternatives ou le stockage



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Les approches complémentaires, qui agissent plus directement sur les utilisations, ont une portée et des résultats variables dans les pays de l'OCDE. Le développement de systèmes de recyclage pour l'irrigation est particulièrement prometteur en cela qu'il n'augmente pas les prélèvements d'eau. La collecte des eaux de pluie peut également apporter des solutions simples. Israël utilise actuellement des eaux usées traitées pour recharger les nappes d'eau souterraine et pour l'irrigation (OCDE, 2012a) et développe la récupération des eaux de pluie dans l'habitat individuel pour faire face à la pénurie d'eau (Ronen et al., 2012). D'autre part, l'expérience de l'Espagne avec l'eau dessalée suggère que les prix et la qualité finale sont très importants pour les résultats sur les aquifères. Dans la région de Campo de Nijar, la fourniture d'eau dessalée n'a pas réellement réduit le pompage d'eau souterraine pour l'irrigation, malgré le risque croissant d'intrusion d'eau salée (Lopez-Gunn et al., 2012a). Aux îles Canaries, l'association de la fourniture publique d'eau dessalée et de la propriété privée de l'eau souterraine a aidé à gérer les pressions exercées sur les ressources hydrogéologiques (Custodio et del Carmen Cabrera, 2012). Le district de gestion et de stockage de l'eau d'Arvin-Edison, créé en 1942 dans le comté de Kern, dans la Vallée centrale de Californie, s'est lancé dans l'utilisation combinée, en constituant une banque d'eau souterraine au cours des années humides et en repompant cette eau pendant les saisons ou années sèches, pour un bénéfice annuel de 488 000 USD, soit 47 % de la valeur de l'eau souterraine (Schoengold et Zilberman, 2007 ; Wichelns, 2010).

Certains de ces instruments peuvent être associés, comme on l'a vu dans le cas des multiples partenariats urbain-rural visant à réduire la pression exercée sur les eaux souterraines, ou celui des paiements aux agriculteurs pour qu'ils assurent la recharge (encadré 4.4) (voir aussi OCDE, 2015b).

Certains pays suivent d'autres approches qui associent parfois différents instruments. En Belgique, l'un des objectifs de l'intervention des pouvoirs publics est de réduire le drainage et d'accroître la recharge des nappes d'eau souterraine en amont des cours d'eau ainsi que de prévenir les crues en aval (OCDE, 2010b). En Californie, des études sont menées pour examiner comment exploiter l'acheminement des surplus d'eau vers les champs au repos en hiver afin de maximiser la recharge des nappes d'eau souterraine (Harter et Dahlke, 2014). À Almeria et Alicante (Espagne), des plans de modernisation ont été mis en œuvre dans le double but d'accroître l'efficacité de l'eau tout en limitant

les fuites et d'utiliser d'autres sources de manière à réduire l'intensité de l'utilisation d'eau souterraine (Lopez-Gunn et al., 2012b).

Encadré 4.4. Transferts d'eau et de financements entre zones rurales et urbaines pour enrayer la surexploitation des ressources en eau souterraine

Un certain nombre d'initiatives de gestion locale ont été mises en place autour des villes afin de trouver des moyens de conserver les ressources hydrogéologiques.

Tout d'abord, dans plusieurs cas, les villes ont proposé d'utiliser pour l'irrigation des eaux usées traitées au lieu d'eau souterraine, à des fins de conservation (ou pour la constitution de banques d'eau). Cette solution a été mise en œuvre, par exemple, à Topeka au Kansas, où la ville achetait des droits sur l'eau souterraine en échange d'eaux usées municipales traitées. L'objectif de conservation était rempli et l'on rapporte que la ville n'aurait pas utilisé d'eaux souterraines pendant sept ans. Face au risque d'épuisement des nappes d'eau souterraine, la ville de Wichita au Kansas, s'est lancée dans un vaste transfert d'eaux de surface dans sa section de l'aquifère des Hautes Plaines. De même, Dodge City au Kansas fournit des eaux usées traitées pour l'irrigation en échange de droits sur les eaux souterraines. À Santa Clara en Californie, un district de conservation a été créé et géré de manière à enrayer l'affaissement des sols qui endommageait les infrastructures. Le plan de gestion du district comprenait la surveillance de l'utilisation d'eau souterraine chez les usagers ruraux et urbains, l'importation d'eau de surface et la reconstitution artificielle de l'aquifère au moyen d'eaux usées traitées. Des plans ont également été élaborés afin de réduire l'intrusion d'eau salée dans l'aquifère sous l'effet du pompage des eaux souterraines, par le biais de la gestion collective dans la région de Bordeaux (France), de la fourniture d'un mélange d'eaux usées traitées et d'eau de surface pour l'irrigation dans la Vallée de Salinas en Californie, ou de l'utilisation d'eaux usées urbaines et industrielles traitées en Toscane (Italie). La ville de Tucson en Arizona a mis au point un programme de stockage et de récupération en aquifère dans le double but de stocker de l'eau sous la surface en vue d'une utilisation future et de reconstituer le volume d'eau souterraine déjà pompé.

Dans d'autres cas, on a fait appel à des paiements ou à des transferts financiers. Des villes et des entreprises industrielles ont payé des agriculteurs pour encourager les pratiques concourant au rétablissement de l'aquifère, telles que la riziculture inondée. La ville d'Ono dans la préfecture de Fukui, lauréate du Grand prix de l'eau du Japon en 2012, a été l'une des premières à adopter la recharge des nappes d'eau souterraine par le biais du stockage en rizière à la fin des années 1970. Un mécanisme semblable a été introduit à Kumamoto (Japon), où la ville agissait en coopération avec Sony Corporation et une fondation locale d'aide aux agriculteurs (Hashimoto, 2013). La culture du riz a ensuite été encouragée pour son caractère écologique. La ville d'Azumino a instauré un mécanisme consistant à payer les utilisateurs pour qu'ils assurent la conservation au bénéfice des utilisateurs urbains, industriels et agricoles. D'autres villes ont mis en place des servitudes de conservation, assurant la protection des terres entourant la ville en échange de la recharge de l'aquifère (par exemple, San Antonio au Texas).

Sources : Peck (2007) ; Borchers et al. (2014) ; Barraqué et al. (2010) ; Groot, (2013) ; Civita et al. (2010) ; Hashimoto (2013) ; Lee (2014).

Autres politiques sectorielles ayant une incidence sur l'utilisation des eaux souterraines

Peu de pays taxent ou subventionnent l'électricité

L'irrigation à partir d'eau souterraine dans les pays de l'OCDE repose presque entièrement sur des pompes électriques et plus rarement sur des pompes à moteur diesel. Cela implique que l'exploitation des eaux souterraines dépend de la disponibilité d'un raccordement abordable à des sources d'électricité¹⁴. Comme expliqué au chapitre 2, les subventions accordées en Inde et au Mexique ont contribué à la surexploitation des ressources hydrogéologiques. Jusqu'ici, plusieurs obstacles ont entravé la réforme de ces programmes pluridécennaux, mais des efforts ont été entrepris pour y remédier. Dans l'État indien de Gujarat, un système novateur basé sur le découplage des réseaux électriques est parvenu à réduire l'utilisation d'eau souterraine (Shah et al., 2008) ; par ailleurs, quelques expériences pilotes lancées au Mexique entendent évaluer comment mettre en œuvre cette réduction (De Richter, 2013)¹⁵.

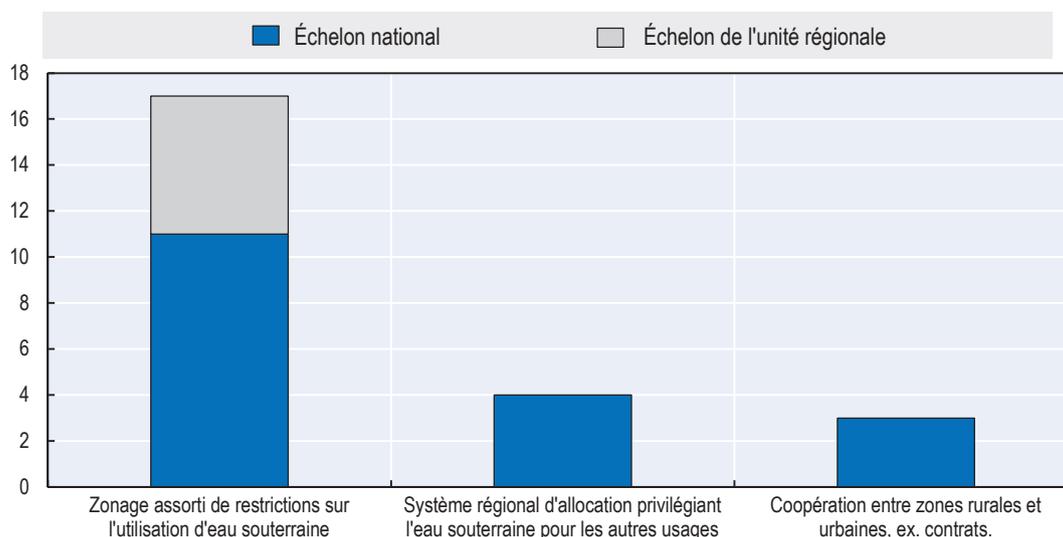
Le questionnaire proposait trois options de programmes concernant l'électricité, à savoir "subventions", "taxes", "autres programmes de soutien à l'énergie" et "autres", qui ont recueilli peu de réponses. Le Chili, le Portugal et la région de l'Île volcanique de Jéju en Corée recourent aux subventions à l'électricité et à d'autres programmes, tandis que les Pays-Bas emploient les trois options au niveau national. Le programme du Portugal vise spécifiquement à améliorer l'efficacité énergétique de l'irrigation en agriculture. En outre, l'Espagne, la France et le Mexique déclarent appliquer des taxes sur l'électricité au niveau national.

La moitié des répondants appliquent des politiques foncières qui ont un impact sur l'utilisation des eaux souterraines

Compte tenu des relations étroites entre la propriété foncière et l'utilisation (et la propriété) des eaux souterraines, les politiques foncières sont susceptibles de jouer un rôle important dans la gestion des ressources hydrogéologiques. Le questionnaire proposait trois options, à savoir "zonage", "système régional d'allocation" ou "coopération entre zones rurales et urbaines" (graphique 4.7).

Près de la moitié des 21 pays répondants déclarent imposer des restrictions de zonage sur l'utilisation des eaux souterraines, dans certains cas potentiellement pour préserver la qualité de l'eau (de boisson), mais avec des incidences évidentes sur l'accès à l'aquifère et donc sur l'utilisation des eaux souterraines (graphique 4.7). On considère en effet les systèmes de zonage comme des traits majeurs des récents régimes juridiques applicables aux eaux souterraines, allant de zones de protection des aires de recharge au zonage pour l'eau potable (Mechlem, 2012). On les trouve aux niveaux national et régional en France et aux Pays-Bas (six régions dans le graphique 4.7). En France, en vertu de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006, les préfets peuvent créer des zones de contraintes environnementales dans lesquelles ils peuvent imposer des restrictions sur l'eau (Barraqué et al., 2010).

Graphique 4.7. Nombre de régions et pays répondants dotés de politiques foncières relatives aux eaux souterraines



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Les programmes de retrait de superficies peuvent aussi être utilisés dans des dispositifs visant à remédier aux externalités, comme c'est le cas dans le Nebraska (États-Unis). Depuis quelques années, le district de l'Upper Republican poursuit un programme résolu de retrait de superficies ; il a dépensé 10 millions USD pour acquérir 3 300 acres (1 300 hectares) de terres irriguées en 2011 (dans la région de Rock Creek) et s'est joint aux circonscriptions des districts des Middle et Lower Republican et du Twin Platte pour acquérir près de 20 000 acres (8 100 hectares) de terrain pour un montant de 83 millions USD en 2012 (McCabe, 2013). Dans les deux cas, le *Natural Resources District* construit des projets d'augmentation des débits des cours d'eau qui relieront les puits aux cours d'eau voisins au moyen d'une conduite. Cela permettra de pomper directement les eaux souterraines dans la rivière de manière à assurer le respect des accords inter-États sur les eaux de surface durant les années de sécheresse¹⁶.

Quatre pays de l'OCDE déclarent avoir mis en place des systèmes d'allocation régionaux et l'Estonie, Israël et le Portugal indiquent avoir instauré des mécanismes de coopération entre zones urbaines et rurales concernant les terres qui ont une incidence sur l'utilisation des eaux souterraines, mais d'autres politiques foncières ont été mises en œuvre. En Slovénie, un programme de subventions financé par le Fonds européen de développement rural encourage l'évolution vers une utilisation des terres moins consommatrice d'eau (CE, 2012b). Aux États-Unis, la puissance publique finance et administre un certain nombre de programmes de mise en jachère de terres irriguées agricoles afin d'inciter à réduire la consommation d'eau (Casey et Nelson, 2012).

Plusieurs programmes de conservation des bassins hydrographiques ont une incidence indirecte sur l'utilisation des eaux souterraines

Les programmes de conservation des bassins hydrographiques peuvent aussi avoir des effets indirects sur l'utilisation des eaux souterraines. Ils englobent des instruments réglementaires et économiques. Les zones d'exclusion pour la conservation et les limites d'utilisation des eaux souterraines à proximité des aires protégées sont courantes, respectivement dans neuf et sept des 20 pays répondants. Les approches spatiales peuvent en particulier aider à remédier aux externalités locales. Cinq pays (Corée, Estonie, France, Mexique et République slovaque) et quatre régions (Almonde-Marismas en Espagne, et NHPA, SHPA et MPW aux États-Unis) utilisent l'acquisition de droits sur l'eau souterraine à des fins de conservation.

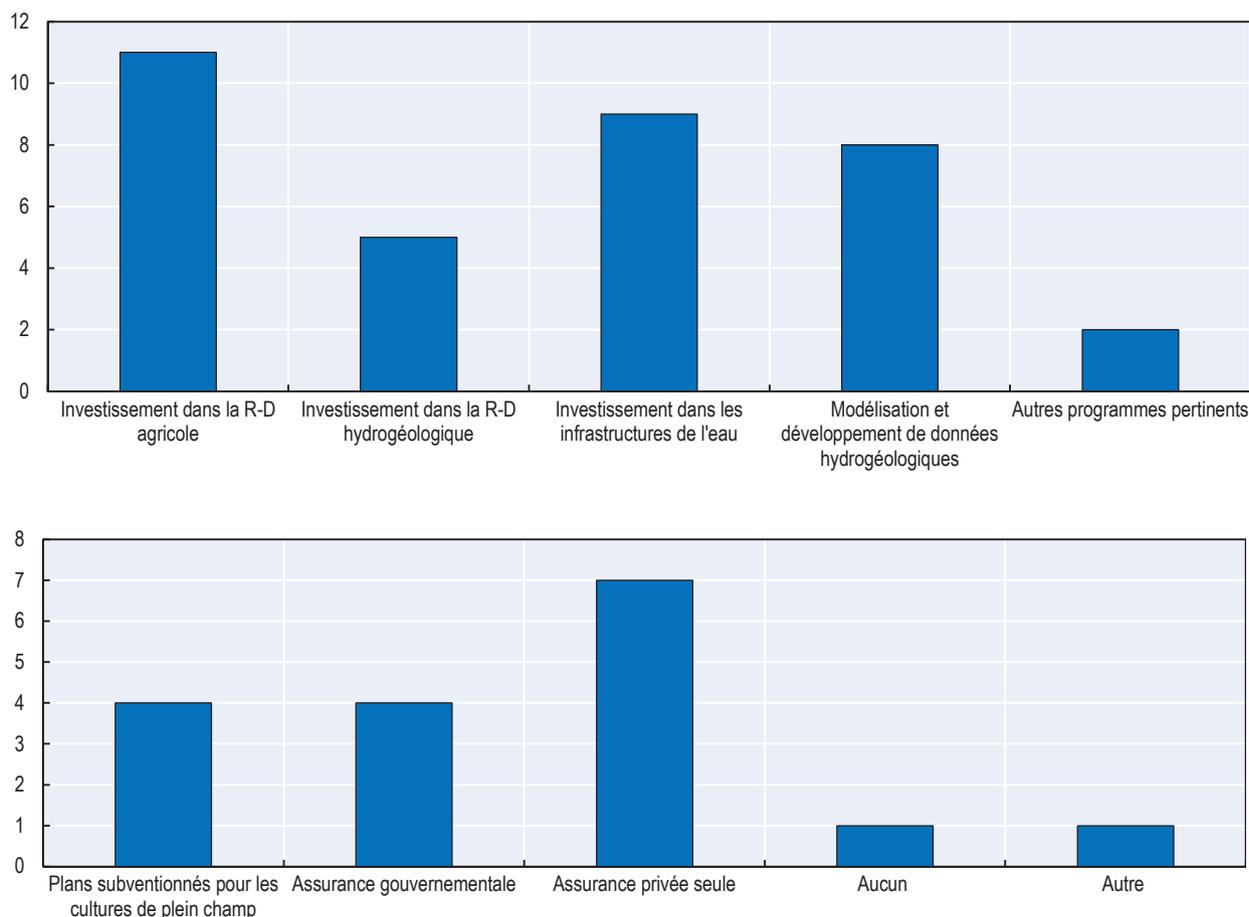
Des programmes visant les zones humides en particulier encourageront nécessairement la conservation des ressources en eau souterraine. En Corée, aux États-Unis et au Japon, par exemple, il existe des programmes ayant pour objectif d'assurer la conservation des zones humides tout en renforçant la capacité de recharge des nappes d'eau souterraine de l'agriculture, notamment des systèmes de rizières (OCDE, 2010b).

Un nombre croissant de plans d'adaptation au changement climatique, quelques programmes d'assurance sécheresse

Comme souligné au chapitre 1, les ressources en eau souterraine peuvent contribuer de façon déterminante à l'adaptation au changement climatique. Les politiques et plans d'adaptation dans l'agriculture sont variés et prennent en compte l'offre, la demande et la résilience face aux événements extrêmes (OCDE, 2015a). Certaines de ces politiques s'appuient explicitement sur l'eau (OCDE, 2014a). Si certaines politiques envisagent explicitement des mesures d'intervention spécifiques aux eaux souterraines, d'autres s'intéressent à d'autres aspects du lien entre l'agriculture, l'eau et le changement climatique.

La recherche-développement débouchant sur des pratiques et des technologies mieux adaptées au changement climatique pourrait contribuer à réduire l'utilisation d'eau souterraine. Sophocleous (2012) note que selon un rapport du ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA) comparant plusieurs options pour la gestion de l'aquifère des Hautes Plaines, le meilleur résultat est obtenu grâce à l'utilisation de biotechnologies favorisant une hausse des rendements (supposée égale à 5 % par décennie) couplée à une restriction de l'utilisation d'eau souterraine (10 % moins d'eau par décennie). La modélisation et les données hydrogéologiques peuvent aussi contribuer à améliorer la gestion des eaux souterraines et concourent donc à l'adaptation. Le graphique 4.8 (cadre supérieur) montre la fréquence de quatre types de programmes d'investissements pour l'adaptation parmi les pays répondants.

Graphique 4.8. Nombre de pays répondants dotés de programmes d'adaptation au changement climatique (cadre supérieur) et d'assurance sécheresse (cadre inférieur)



Source : Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Le graphique 4.8 (cadre inférieur) montre aussi que sept des pays répondants sont dotés de systèmes d'assurance privée mais que seuls le Chili, l'Espagne, les États-Unis (polices d'assurance pour les grandes cultures) et la France soutiennent des programmes d'assurance gouvernementale.

Un certain nombre de politiques de lutte contre la sécheresse font aussi explicitement référence à l'eau souterraine. Dans la plupart des pays de l'OCDE, un système de priorités est appliqué pour allouer les ressources en eau de surface et en eau souterraine en période de sécheresse (OCDE, 2015c). En Suède, les autorités provinciales peuvent limiter l'irrigation pendant les épisodes de sécheresse. Dans l'État de Géorgie (États-Unis), le débit d'étiage minimum peut déclencher des restrictions en matière d'irrigation à partir d'eau souterraine (Wright et al., 2012).

Les mesures de soutien à l'agriculture ne sont généralement pas particulièrement favorables aux cultures intensives en eau

Les réponses au questionnaire montrent que les pays de l'OCDE qui soutiennent leurs agriculteurs ne recourent généralement pas à ce type d'incitation, mais il existe quelques exceptions. Le Portugal note qu'au titre des paiements directs du premier pilier de la politique agricole commune (PAC), certaines cultures intensives en eau bénéficient d'un soutien (parmi d'autres) ; et que certains paiements couplés restants s'appliquent effectivement aux systèmes d'élevage et à certains systèmes

intensifs. Quatre pays mettent en œuvre des programmes de soutien à la production de biocarburants (États-Unis, Pays-Bas, République tchèque et Royaume-Uni) qui pourraient dans certains cas se révéler dommageables à long terme pour les ressources hydrogéologiques (chapitre 3).

Certains programmes subventionnés sont conçus pour favoriser une gestion plus durable des eaux souterraines. L'Autriche, la France et la République slovaque incluent des mesures agroenvironnementales qui pourraient, d'autre part, récompenser les agriculteurs qui adoptent de meilleures pratiques à l'égard des eaux souterraines. Au Portugal, certains des programmes de développement rural relevant du deuxième pilier de la CAP encouragent l'adoption de meilleures pratiques ou les investissements qui contribuent à la recharge des aquifères : par exemple, via l'agroforesterie, ou l'installation de bandes rivulaires.

Les instruments d'action correspondent-ils aux caractéristiques particulières des eaux souterraines ? Résultats d'une analyse régionale

La section précédente a démontré la diversité des approches, relevant de la gestion ou de l'action des pouvoirs publics, employées dans les différents pays et régions de l'OCDE, mais une question sous-jacente est de savoir si cette diversité reflète les différences en termes de caractéristiques hydrogéologiques. Les données tirées du questionnaire sur les régions hydrogéologiques, qui demandait des informations spécifiques sur les caractéristiques de ces ressources et leur utilisation (chapitre 2) et sur les approches relevant de la gestion et de l'action des pouvoirs publics (chapitre 3), offrent l'occasion d'explorer la présence potentielle de ce type de relation. Comme on le voit au tableau 4.4, des données sur ces deux aspects ont été recueillies pour 20 régions de 11 pays de l'OCDE. Les pays ayant répondu ont en outre fourni des détails sur les mesures nationales qui sont applicables au niveau régional.

Les réponses provenant de ces 20 régions ont été utilisées pour constituer des indices agrégés représentant des ensembles d'indicateurs dans chaque zone d'intérêt afin d'établir des comparaisons qualitatives entre les régions. L'annexe 4.A1 présente la méthode de calcul générale utilisée pour obtenir un ensemble d'indicateurs qui, pour certains (caractéristiques, suivant le tableau 2.3 du chapitre 2), augmentent systématiquement avec la probabilité de pressions sur les eaux souterraines (et vice versa) et, pour d'autres (politiques), augmentent avec la portée des mesures prises par les pouvoirs publics pour maîtriser l'utilisation des eaux souterraines (et, à l'inverse, diminuent avec les mesures qui ne visent pas cette maîtrise, voire qui favorisent l'utilisation des eaux souterraines).

Ces indicateurs ont été soumis à une comparaison par paire puis ont servi à établir des comparaisons entre les régions. L'objectif de cet exercice n'est pas d'en déduire des valeurs absolues significatives du stress et de la couverture des politiques, mais plutôt de permettre une comparaison de l'importance relative des types de contraintes et d'approches entre les régions.

Tableau 4.4. Couverture régionale du questionnaire de l'OCDE

Pays	Région	Notation	Localisation	Caractérisation des ressources en eau souterraine	Politiques
Australie	Grand bassin artésien	AusGAB	Nord	X	
		AusMDB	Centre-Sud	X	X
Danemark	Jutland occidental ¹	DenWJ		X	X
France	Nappe de Beauce	FraNB	Ile de France	X	X
	Département de la Vienne	FraDV	Poitou-Charentes	X	X
Israël	Galilée occidentale	IsrWG		X	X
Italie	Pouilles	ItaP	Conzorzio di Bonifica Arneo	X	
	Campanie (Ufita)	ItaC	Conzorzio di Bonifica UFITA	X	X ²
Japon	Kinugawa Seibu	JapKS	District de Kanto	X	X
	Noubiheiya Seibu	JapNS	District de Tokai	X	X
	Kikuchi Heiya	JapKH	District de Kyushu	X	X
Corée	Île volcanique de Jéju	KorJvl		X	X
Mexique	Region Lagunera	MexRL	États de Coahuila et Durango	X	X
Pays-Bas	Brabant septentrional	NldNB	Bassin de la Meuse, Sud des Pays-Bas	X	X
	Limburg	NldL		X	X ²
	Gelderland et Overijssel ³	NldG	Bassin du Rhin-Est, Est des Pays-Bas	X	X ²
Portugal	District du bassin hydrographique Tejo e Riberias do Oeste	PorTRO	Régions Ribatejo e Oeste, Beira Interior et Alentejo	X	X ²
Espagne	Mancha Occidental ¹	SpaMOc	Ciudad Real, Castilla La Mancha	X	X
	Campos de Montiel	SpaCM	Ciudad Real, Albacete, Castilla La Mancha		X
	Almonte - Marismas	SpaAM	Huelva et Sevilla, Andalucía		X
	Mancha Oriental	SpaMOr	Valencia, Albacete, Cuenca. Castilla La Mancha et Comunidad Valenciana		X
Turquie	Bassin du Kūçük Menderes	TurKB		X	
États-Unis	Aquifère des Hautes Plaines du Nord	NHPA	Dakota du Nord, Dakota du Sud et Nebraska	X	X
	Aquifère des Hautes Plaines du Sud	SHPA	Kansas, Oklahoma, Texas	X	X
	Région de l'aquifère alluvial du Mississippi	MAA	Arkansas, Mississippi, Louisiane et une partie du Missouri	X	X
	Région des Montagnes et du Pacifique Ouest	MPW	Washington, Oregon, Californie, Idaho, Utah, Nevada, Montana, Wyoming, Colorado et Nouveau Mexique	X	X
TOTAL		27		23	23

1. L'évaluation n'est pas réalisée au niveau municipal.

2. Seules les politiques nationales sont prises en compte, non les réponses régionales (les autres cas combinent politiques nationales et réponses régionales).

3. Les deux régions ont des réponses identiques et seront donc confondues.

Tableau 4.5. Indicateurs des caractéristiques des ressources hydrogéologiques et des politiques connexes par région

Caractérisation de la région hydrogéologique		Stratégies de gestion et d'action des pouvoirs publics	
Nom	Description	Nom	Description
IndClim	Conditions agro-climatiques (actuelles et projetées)	IndEntFTO¹	Liberté d'action basée sur les caractéristiques de la propriété et des quotas
IndAq	Type et géologie de l'aquifère	IndRegGW¹	Réglementation des eaux souterraines (plans de gestion, puits, surveillance, prélèvements)
IndSW	Disponibilité et utilisation d'eau de surface	IndEconGW¹	Instruments économiques utilisés pour contrôler l'utilisation des eaux souterraines (redevances, marchés, rachats)
IndGWuse	Utilisation d'eau souterraine dans l'agriculture (actuelle et projetée)	IndCMGW¹	Approches collectives de la gestion visant à maîtriser l'utilisation des eaux souterraines
IndOtheruse	Concurrence d'autres utilisateurs (actuelle et projetée)	IndSupply¹	Approches axées sur l'offre
IndExt	Externalités dues au pompage d'eau souterraine (actuelles et projetées)	IndOtherControl¹	Autres mesures de contrôle indirectes (programmes pour l'énergie, l'agriculture et la conservation)
		IndOtherConso¹	Autres programmes susceptibles de soutenir indirectement l'utilisation des eaux souterraines (énergétiques, agricoles)

1. Les indicateurs rendent compte des politiques et programmes établis au niveau national.

L'annexe 4.A2 fournit les résultats détaillés de cette analyse (indicateurs et comparaison région par région). Tout d'abord, les caractéristiques des masses d'eau souterraine présentent une grande diversité. Quatre régions se distinguent par des contraintes climatiques fortes, l'utilisation d'eau souterraine, une disponibilité relativement faible d'eau de surface, la concurrence avec d'autres usages et les externalités (avec toutefois des différences dans les caractéristiques des aquifères) : la Región Lagunera au Mexique, la Galilée occidentale en Israël, la région des Montagnes et du Pacifique Ouest (MPW) aux États-Unis et le bassin Murray-Darling en Australie. Un deuxième groupe de régions situées en Corée, en Espagne, au Japon, au Danemark, en France et aux Pays-Bas ne ressortent pas aussi haut dans nombre de ces catégories, avec relativement plus d'eau de surface disponible, un climat actuel et projeté moins aride, un degré moindre d'utilisation d'eau souterraine et des externalités (à l'exception de la Mancha Occidental en Espagne). Enfin, la région italienne de la Campanie et les régions de l'aquifère des Hautes Plaines du Nord (NHPA), de l'aquifère des Hautes Plaines du Sud (SHPA) et de l'aquifère alluvial du Mississippi (MAA) aux États-Unis semblent se trouver dans une situation intermédiaire à l'égard de ces dimensions. Les régions diffèrent par les caractéristiques des aquifères mais il n'existe pas de schéma simple.

Ces groupes de régions ne correspondent pas tout à fait à ceux observés pour les mesures prises par les pouvoirs publics. La Galilée occidentale en Israël et la Región Lagunera au Mexique se démarquent toutes deux par l'accent relatif mis sur les approches axées sur l'offre. La gravité des pressions sur l'eau douce a peut-être incité ces régions à engager des investissements coûteux mais apparemment inévitables en matière d'approvisionnement. Du côté de la demande, tandis que la Galilée occidentale en Israël met en œuvre des approches réglementaires, la Región Lagunera au Mexique se distingue également par un recours significatif aux instruments économiques et à la

gestion collective. Les tendances dans les autres régions ne sont pas aussi marquées et reflètent des spécificités nationales.

- Aux États-Unis, les régions MPW, SHPA et MAA présentent un certain nombre de caractéristiques communes en cela qu'elles fournissent chacune un cadre législatif offrant une liberté d'action plus grande et des réglementations limitées, mais appliquent des politiques de contrôle indirect. La région NHPA recourt davantage aux approches économiques, réglementaires et collectives de la gestion.
- Le bassin Murray-Darling en Australie se distingue par l'utilisation d'instruments économiques relativement nombreux, un recours modéré aux approches axées sur l'offre et une moindre utilisation des instruments réglementaires.
- Les trois régions japonaises appliquent les mêmes types d'approches, basées principalement sur la législation nationale, avec de même une liberté d'action relativement grande, une réglementation relativement moins contraignante et des mesures très limitées en faveur de l'utilisation des eaux souterraines.
- La gestion des eaux souterraines en agriculture dans les régions françaises du département de la Vienne et de la nappe de Beauce se caractérise dans les deux cas par un degré relativement élevé de gestion collective, des instruments économiques et d'autres mesures de contrôle, une liberté d'action limitée et des dispositions réglementaires.
- Les régions des Pays-Bas font état de réglementations modérées et, à l'instar du Jutland occidental au Danemark, offrent une liberté d'action relativement faible.
- La Mancha Occidental en Espagne et l'île volcanique de Jéju en Corée arrivent en tête en ce concerne la réglementation et affichent un degré modérément élevé de dispositifs de gestion commune et d'instruments économiques. Tout comme la Mancha Occidental en Espagne, la région portugaise Tejo e Ribeiros do Oeste fait appel à de nombreux autres mécanismes de contrôle.

Hormis des similitudes nationales ou continentales et la relation entre un stress supérieur et des approches axées sur la demande, il n'existe pas de correspondance simple entre les caractéristiques des ressources hydrogéologiques et de leur utilisation et les politiques suivies dans ces régions hydrogéologiques agricoles. Toutefois, les corrélations par paire (annexe 4.A2) montrent que :

- L'indicateur de liberté d'action est corrélé positivement à l'utilisation d'eau souterraine dans l'agriculture et les secteurs concurrents et aux stress climatiques, et corrélé négativement à l'utilisation d'eau de surface ; il est plus élevé dans les régions d'haute utilisation où les agriculteurs peuvent décider eux-mêmes à quel moment pomper.
- Les approches économiques sont plus courantes dans les régions confrontées à un stress climatique plus fort, une faible disponibilité d'eau de surface et à des externalités plus significatives.
- Les dispositifs de gestion commune sont plus courants lorsqu'il existe des externalités.
- Les approches axées sur l'offre sont effectivement corrélées négativement à la disponibilité d'eau de surface, corrélées positivement au stress climatique et aux externalités, et faiblement corrélées à l'indice de l'aquifère.
- D'autres approches indirectes du contrôle sont faiblement corrélées à l'indicateur des externalités.

- Les mesures de soutien à l'irrigation à partir d'eau souterraine sont positivement corrélées à l'utilisation d'eau souterraine.

Naturellement, chacune de ces corrélations par paire n'est pertinente que pour ce sous-ensemble de régions ; elles ne résisteraient peut-être pas à des analyses statistiques plus robustes et n'appuient en aucun cas et en aucune manière quelque causalité que ce soit. Toutefois, elles étayent l'analyse comparative entre les régions (voir annexe 4.A2) et suggèrent quelques liens potentiels intéressants à valider empiriquement, tels que les relations entre les caractéristiques des droits d'utilisation (liberté d'action) ou les politiques de soutien et l'utilisation des eaux souterraines¹⁷. L'autre question importante serait de déterminer si les caractéristiques hydrogéologiques locales motivent ces politiques ou si les politiques ont influé sur ces caractéristiques.

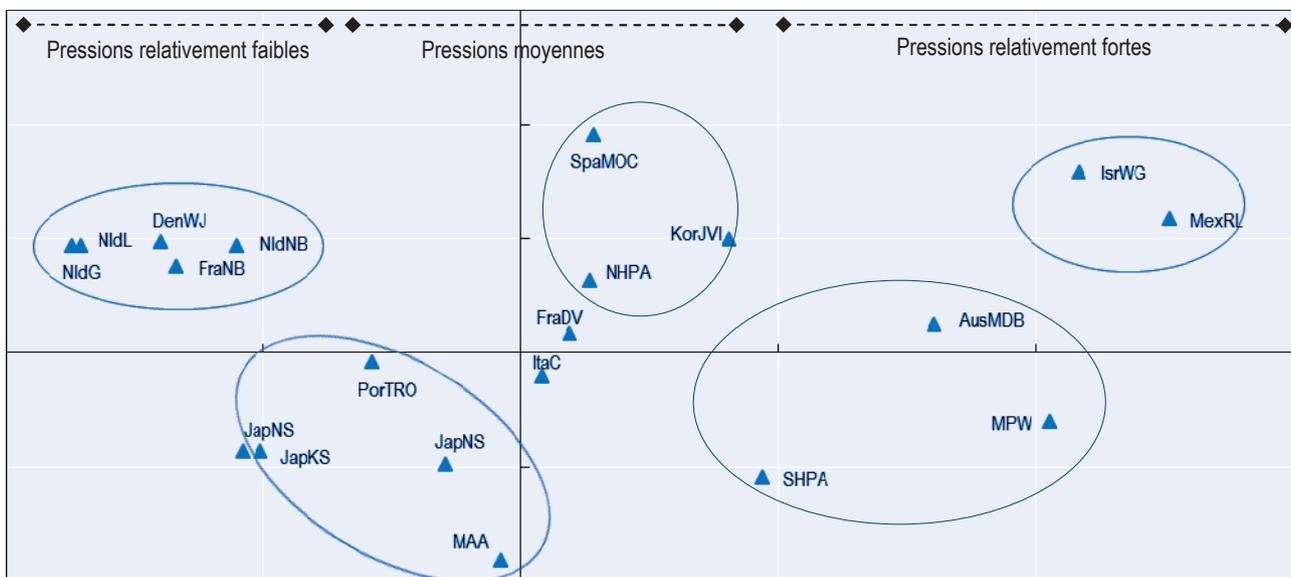
Plus généralement, ces résultats suggèrent que le choix des options de gestion pourrait bien être lié au moins en partie aux caractéristiques de l'utilisation des eaux souterraines. En particulier, les approches économiques et celles axées sur l'offre pourraient être plus courantes dans les zones agricoles soumises à de plus fortes pressions sur les eaux souterraines.

À un niveau d'agrégation encore plus élevé, on peut déduire de ces indicateurs deux méga-indicateurs rendant compte de l'ensemble des pressions relatives qui seront exercées sur les ressources en eau souterraine, ainsi que de la diversité et du nombre relatifs d'instruments de gestion des eaux souterraines utilisées en agriculture par région¹⁸. Ce résultat apparaît dans le graphique 4.9, l'indicateur de pression étant représenté sur l'axe horizontal et l'indicateur des politiques sur l'axe vertical¹⁹.

Graphique 4.9. Comparaison des pressions relatives sur les eaux souterraines et des stratégies d'intervention dans les régions répondantes

Axe horizontal : Stress agroclimatique et pressions sur les eaux souterraines relatifs ;

Axe vertical : Importance relative des approches de la gestion de l'utilisation des eaux souterraines



Note : AusMDB : Bassin Murray-Darling ; DenWJ : Jutland occidental ; FraNB : Nappe de Beauce, FraDV : Département de la Vienne ; IsrWG : Galilée occidentale (Israël) ; ItaC : Campanie (Ufita) ; JapKH : Kikuchi Heiya ; JapKS : Kinaguwa Seigu ; JapNS : Noubiheiya Seigu ; KorJVI : Île volcanique de Jéju ; MexRL : Región Lagunera ; NldG : Gelderland et Overijssel ; NldL : Limburg ; NldNB : Brabant septentrional ; PorTRO : Tejo e Ribeiras do Oeste ; SpaMOC : Mancha Occidental ; MAA : Aquifère alluvial du Mississippi ; MPW : Montagnes et Pacifique Ouest ; NHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Nord ; SHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Sud.

Source : D'après les réponses au Questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture (voir annexes 4.A1 et 4.A2).

Il convient de rappeler plusieurs réserves importantes avant d'interpréter ce graphique. Tout d'abord, aucun des chiffres retenus n'a de valeur significative. Ensuite, le graphique distingue les approches atypiques et non les régions caractérisées par des pressions ou des niveaux d'intervention plus importants globalement. En outre, il se peut que les régions pour lesquelles les réponses sont incomplètes soient au moins en partie mal situées sur le graphique. Enfin, l'axe des politiques rend davantage compte du nombre relatif d'approches visant à maîtriser l'exploitation des eaux souterraines que de leur rigueur ou de leur efficacité.

Compte tenu de ces limites, le graphique 4.9 fait apparaître en revanche une série de groupes de régions possibles présentant des contraintes, caractéristiques et/ou approches de la gestion similaires, et cohérents avec la comparaison groupée des régions ci-dessus. Si l'on distingue trois groupes de pressions relatives sur les eaux souterraines le long de l'axe horizontal (représentés par des segments situés dans le haut du graphique : sept régions à gauche de l'axe, cinq à droite, et les huit autres au centre), ces degrés de pression se traduisent par cinq groupes de politiques/caractéristiques, représentés par des cercles. En particulier, la Galilée occidentale et la Región Lagunera se démarquent positivement sur les deux dimensions et les régions Murray-Darling, MPW et SHPA affichent un score relativement haut concernant les défis, mais leurs stratégies d'intervention sont peut-être moins concrètes. Les régions MAA, portugaise et japonaises enregistrent des scores relativement bas sur les deux composantes, et les régions néerlandaises et danoise ainsi que la Nappe de Beauce affichent des pressions moins fortes et un indice de gestion plus élevé. Les régions coréenne et espagnole ainsi que la région NHPA se présentent comme ayant un degré de gestion et des contraintes relativement modérés.

Si l'on interprète l'axe vertical comme une représentation de l'intervention, le graphique 4.9 suggère que les pays et régions ont pratiqué différents degrés d'intervention pour répondre à des pressions présentant des spécificités locales. Il est intéressant de noter que dans certaines régions, les contrôles sont relativement fréquents et les contraintes peu rigoureuses, tandis que dans d'autres les contraintes sont plus fortes mais les contrôles moins fréquents. Toute intervention ne garantit pas le succès et, comme expliqué plus haut, certaines pourraient être parfaitement injustifiées du point de vue économique. Rien n'indique cependant que les interventions des pouvoirs publics évoluent avec la gravité des pressions.

Notes

1. Le questionnaire peut être obtenu en faisant la demande à l'adresse tad.contact@oecd.org.
2. Les réponses régionales ne sont précisées que lorsqu'elles diffèrent de la réponse nationale et pour les quatre régions des États-Unis (dans lesquelles les droits d'utilisation sont définis au niveau de l'État).
3. Plusieurs pays ont tenté de modifier la propriété pour la faire évoluer de privée à publique ; l'expérience de l'Espagne à la suite de sa loi sur l'eau de 1983 a montré qu'il était difficile de mettre en œuvre ce type de réforme, en particulier dans les régions où les eaux souterraines avaient par le passé été exploitées de façon intensive pour l'irrigation par des milliers d'agriculteurs (Llamas et Garrido, 2007).
4. La gestion des eaux souterraines est également assurée au niveau régional en Belgique (OCDE, 2010b).
5. Le district de l'Upper Republican dans le Nebraska offre un exemple de dispositif efficace de comptage et de sanction. En 2010, ce district a révoqué les droits de pompage d'eau souterraine

- d'une valeur estimée à plus de 3 millions USD — de plusieurs utilisateurs parce que ces derniers avaient tenté d'accroître illégalement leur consommation d'eau en contournant le compteur de débit du puits (McCook Gazette 2010).
6. Une autre question à l'acuité croissante concerne les puits abandonnés, qui sont susceptibles d'affecter les débits et d'engendrer des problèmes de qualité à long terme (conversation personnelle avec T. Jarvis, Université d'État de l'Oregon).
 7. Outre les pays figurant dans le tableau 4.3, la Grèce et le Mexique comptent un grand nombre de puits illégaux (de Stefano et Lopez-Gunn, 2012 ; de Richter, 2013).
 8. Cela suppose toutefois que l'assureur soit disposé à accepter d'assumer le risque d'aléa moral que les agriculteurs représentent.
 9. Selon Shah (2008), Israël offre « le meilleur exemple de tarification de l'eau pour les utilisations agricoles ». D'autres sources signalent que l'Allemagne fait payer des redevances à tous les utilisateurs à l'exception des agriculteurs (OCDE, 2015) et que la Turquie applique un forfait à l'hectare (OCDE, 2012b).
 10. Une tarification inchangée au fil du temps n'affecte pas les incitations à long terme (Civita et al., 2010). Ce type de système peut aussi influencer sur la réponse aux prix ; par exemple, une tarification en deux tranches prévoyant des prix très bas jusqu'à un certain volume et très hauts au-delà pourrait avoir des effets similaires à ceux d'un quota d'eau, comme observé au Mexique (de Richter, 2013).
 11. L'Estonie déclare également autoriser la vente d'eau pompée, sans grande conséquence toutefois pour les utilisations agricoles.
 12. Des systèmes de ce type ont cours dans les districts de Twin Platte et Central Platte, dans le bassin de la rivière Platte dans le Nebraska (Young, 2014).
 13. En vertu de la loi des États-Unis sur les exploitations agricoles de 2014 (*U.S. Farm Bill*), un programme régional de partenariat pour la conservation a été mis en place afin d'encourager les initiatives public-privé en matière de conservation, y compris de l'eau souterraine dans l'agriculture.
 14. L'utilisation intensive d'eau souterraine peut également exercer des pressions sur la production d'électricité. Aux États-Unis, on estime que le pompage d'eau souterraine pour l'agriculture représente environ 1 % de la consommation totale d'électricité (Water in the West, 2013). Au Mexique, il représentait environ 6 % de la demande d'électricité en 2001 (Scott et Shah, 2004).
 15. En Espagne, la suppression en 2008 des subventions à l'électricité pour l'irrigation, dans le cadre de la libéralisation du marché de l'électricité, a induit une hausse des coûts de 60 %, qui a conduit à l'abandon d'une partie de l'irrigation (Calatrava et Garrido, 2010 ; Fuentes, 2011).
 16. Il importe de noter que, dans la mesure où les opérations de pompage contribuent, elles-mêmes, au tarissement des cours d'eau, l'accroissement du débit ne peut être qu'une mesure temporaire, qui est sujette à controverse au sein de la communauté dont certains membres estiment qu'elle épuise des ressources en eau souterraine limitées sans contribuer à accroître la production agricole par le biais de l'irrigation.
 17. Lopez-Gunn et Llamas (2008) rapportent, par exemple, que d'après l'expérience acquise à l'échelle internationale, il est difficile d'attribuer un quelconque avantage clair à la gestion des eaux souterraines dans le cadre de la propriété privée par rapport à leur gestion relevant de la propriété publique.

18. On y parvient en compilant les moyennes pondérées des indicateurs dérivés. Pour cela, on applique une pondération de -1 à la disponibilité d'eau de surface (IndSW) et de +1 à tous les autres indicateurs des caractéristiques du système hydrogéologique ; de même, on applique une pondération de 1 aux mesures soutenant indirectement l'utilisation d'eau souterraine (IndOtherConso) et à la liberté d'action (IndEntFTO) et de +1 à tous les autres indicateurs de politiques relevant de la gestion.
19. L'indice de pression combiné est spécifique à l'agriculture et à l'eau souterraine et rend compte des futures évolutions des conditions climatiques. Des indices plus généraux des pressions exercées sur les ressources en eau douce sont disponibles dans les indicateurs environnementaux de l'OCDE (2013a).

Références

- AEE (Agence européenne pour l'environnement) (2013), "Assessment of cost recovery through water pricing" AEE, Copenhague, Danemark.
- Barraqué, B. *et al.* (2010), "Groundwater in the Southern Member States of the European Union : an assessment of current knowledge and future prospects. Country report for France", Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes (EASAC), Halle.
- Borchers, J. W. *et al.* (2014), "Land Subsidence from Groundwater Use in California", Ludhorff and Scalmanini Consulting Engineers, Sacramento, Californie.
- Brozović, N. *et al.* (2006), "Optimal management of groundwater over space and time", dans Goetz, R. U. *et* Berga, D. (dir. pub.), *Frontiers in water resource economics*, Springer, New York.
- Brozović, N. *et* R. Young (2014), "Design and Implementation of Markets for Groundwater Pumping Rights", dans Easter, K. *et* Q. Huang (dir. pub.), *Water Markets for the 21st Century: What Have We Learned?*, Springer, New York..
- Calatrava, J., *et* A. Garrido (2010), "Measuring irrigation subsidies in Spain: An application of the GSI method for quantifying subsidies", Global Subsidies Initiative, Institut international du développement durable (IISD), Genève, Suisse. Disponible à l'adresse : www.iisd.org/gsi/sites/default/files/irrig_spain.pdf.
- Casey, M. *et* R. Nelson (dir. pub.) (2012) "Groundwater Science, Policy, Partnerships, and Markets", dans *Groundwater Science, Policy, Partnerships, and Markets*, Université de Stanford, Palo Alto, Californie.
- Castaño, S. *et al.* (2010), "Methodology for Quantifying Groundwater Abstractions for Agriculture via Remote Sensing and GIS", *Water Resources Management*, Vol. 24, n° 4, pp.795-814.
- CE (Conseil européen) (2012a), "Commission Staff Working Document- Member State: Denmark, Accompanying the Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC)- River Basin Management Plans", Commission européenne, Bruxelles.
- CE (Conseil européen) (2012b), "Commission Staff Working Document- Member State: Slovenia, Accompanying the Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) – River Basin Management Plans", Commission européenne, Bruxelles.
- CE (Conseil européen) (2006), "Directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration", Parlement européen et Conseil européen, Bruxelles.
- CE (Conseil européen) (2000), "Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau", Parlement européen et Conseil européen, Bruxelles.
- CEE-ONU (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe) (2011), "Second Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters", *résumé analytique*, CEE-ONU, Genève.
- Christian-Smith, J. *et al.* (2011), "Impacts of the California Drought from 2007 to 2009", Rapport du Pacific Institute, Oakland, Californie. www.circleofblue.org/waternews/wp-content/uploads/2013/04/ca_drought_impacts_full_report.pdf.

- Civita, M.V. et al. (2010), "Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects: Country report for Italy", Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes (EASAC), Halle.
- Cooley, H. et al. (2009), "Sustaining California Agriculture in an Uncertain Future", Pacific Institute, Oakland, Californie.
- Custodio, E. (2010), "Intensive groundwater development: a water cycle transformation, a social revolution, a management challenge", dans Martinez-Cortina, L., A. Garrido et E. Lopez-Gunn (dir. pub.), *Water Workshop on Re-thinking Water and Food Security Paradigms*, CRC Press, Londres.
- Custodio, E. et M. del Carmen Cabrera (2012), "The Canary Islands", dans de Stefano, L. et Llamas, M.R. (dir. pub.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can we square the circle?*, CRC Press, Londres.
- Delaware River Basin Commission (2008), *State of the Delaware River Basin Report*, West Trenton, New Jersey.
- De Richter, C.V. (2013), "Green growth challenges and the need for an energy reform in Mexico", *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 1095, OCDE, Paris, France.
- De Stefano, L., et M.R. Llamas (2012), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can we square the circle?*, CRC Press, Londres.
- De Stefano L, et E. López-Gunn (2012), "Unauthorized groundwater use: institutional, social and ethical considerations", *Water Policy*, Vol. 14, pp. 147–160.
- De Stefano, L. et al. (2013), "Easier Said Than Done? The Establishment of Baseline Groundwater Conditions for the Implementation of the Water Framework Directive in Spain", *Water Resources Management*, vol. 27, Vol. 7, pp. 2691-2707.
- Dionisio, P., et G. Mario (2013), "Insuring water: a practical risk management option in water-scarce and drought prone regions?" *Water Policy*, Vol. 16(2), pp. 244-263.
- EASAC (Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes) (2010), "Groundwater in the Southern Member States of the European Union", EASAC Policy Report 12, EASAC, Halle.
- ECA (Cour des comptes européenne) (2014), "L'intégration dans la PAC des objectifs de la politique de l'Union européenne dans le domaine de l'eau: une réussite partielle", Rapport spécial, ECA, Union européenne, Bruxelles.
- EPA (Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis) (2014), "Aquifer recharge and Aquifer Storage and Recovery", page Web, U.S. EPA, Washington DC. Tiré de : <http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/aquiferrecharge.cfm>.
- IEE MED (Initiative européenne pour l'eau – composante méditerranéenne) (2007), "Mediterranean Groundwater Report", Rapport technique sur la gestion des eaux souterraines en Méditerranée et la directive-cadre sur l'eau, IEE, Bruxelles.
- Famiglietti, J. et al. (2011), "Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley", *Geophysical Research Letters*, vol. 38, n° 3.
- Fanning, J. (2012), *Direct testimony of Jasper Fanning, Manager of the Upper Republican Natural Resources District, in the Supreme Court of the United States, State of Kansas (Plaintiff) v. State of Nebraska and State of Colorado (Defendants)*, n° 126.
- Fornés, J., et al. (2007), "Legal aspects of groundwater ownership in Spain", *Water International*, vol. 32, n° 4, pp. 676–684.

- Fuentes, A. (2011), "Policies towards a sustainable use of water in Spain", *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 840, OCDE, Paris, France. www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-economics-department-working-papers_18151973.
- Gardūno, H. et S. Foster (2010), "Sustainable groundwater irrigation: approaches to reconciling demand with resources", GW-MATE, *Strategic Overview Series*, n° 4, Banque mondiale, Washington DC.
- Garrido, A. et al. (2006), "Groundwater irrigation and its implications for water policy in semiarid countries: the Spanish experience", *Hydrogeology Journal*, vol. 14, n° 3, pp. 340-349.
- Giordano, M. et K.G. Villholth (dir. pub.) (2007), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*, CABI, Oxford.
- Grafton, R.Q., et al. (dir. pub.) (2014), *Global Water: Issues and Insights*, Australia National University Press.
- Groot, N. (2013), "Norm Groot: Projects address seawater intrusion", *The Californian*, 16 décembre 2013. Disponible à l'adresse : www.thecalifornian.com/story/news/2013/12/16/norm-groot-projects-address-seawater-intrusion/4036377/.
- Hanak, E., et al. (2014), "Funding sustainable groundwater management in California", 3 avril 2014, UC Davis Center for Watershed Sciences, California Water Blog. Tiré de : <http://californiawaterblog.com/2014/04/03/funding-sustainable-groundwater-management-in-california/>.
- Harter, T. et H.E. Dahlke (2014), "Out of sight but not out of mind: California refocuses on groundwater", *California Agriculture*, vol. 68, n° 3, pp. 54-55.
- Hashimoto, J. (2013), "Japanese Municipalities' Efforts to Conserve Groundwater", Japan for Sustainability, *Lettre d'information n° 133*, septembre 2013. Disponible à l'adresse : www.japanfs.org/en/news/archives/news_id034270.html.
- Hathaway, D. (2011), "Transboundary groundwater policy: Developing approaches in the Western and Southwestern United States", *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 47, n° 1, pp. 103-113.
- Hendricks, N.P. et J.M. Peterson (2012), Fixed Effects Estimation of the Intensive and Extensive Margins of Irrigation Water Demand. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 37, n° 12, pp. 1-19.
- Hernández-Mora, N. et al. (2010), "Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects. Country report for Spain", Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes (EASAC), Halle.
- Howitt, R., et al. (2014), "Economic Analysis of the 2014 Drought for California Agriculture", Center for Watershed Sciences, Université de Californie Davis, Californie.
- Izquierdo, M., E. López-Gunn et R.M. Llamas (2011), "Emergence and persistence of Groundwater User Collectives in Spain", *Ground Water*, pp. 2-4. www.rac.es/ficheros/doc/00830.pdf.
- Joshi, S.R. (2005), "Comparison of groundwater rights in the United States: Lessons for Texas", *thèse de master*, Génie civil, Université de technologie du Texas, Texas.
- Kemper, K.E. (2007), "Instruments and institutions for groundwater management", dans Giordano, M. et Villholth, K.G. (dir. pub.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*, CABI, Oxford.

- Kuwayama, Y. et N. Brozović (2012), "Analytical hydrologic models and the design of policy instruments for groundwater-quality management", *Hydrogeology Journal*, vol. 20, n° 5, pp. 957-972.
- Lee, L. (2014), "Rural conservation ensures cities' water supplies, benefits landowners", tx | H2O, Summer 2014, Texas Water Resources Institute, Université du Texas A&M, College Station, Texas, États-Unis. Disponible à l'adresse : <http://twri.tamu.edu/publications/txh2o/summer-2014/protect-our-land-protect-our-water/>.
- Llamas, R. (2004), "Water and Ethics. Use of groundwater", *Publications de l'UNESCO sur l'eau et l'éthique, Essai*, UNESCO, Paris.
- Llamas, R. (1975), "Noneconomic motivations in ground-water use: Hydroschizophrenia", *Ground Water*, n° 13, pp. 296-300.
- Llamas, R.M. et A. Garrido (2007), "Lessons from intensive groundwater use in Spain: Economic and social benefits and conflicts", dans Giordano, M. et K.G. Villholth (dir. pub.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*, CABI Oxford.
- Lopez-Gunn, E., et Llamas, M.R. (2008), "Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis?", *Natural Resources Forum*, vol. 32, n° 3, pp. 228-238, doi:10.1111/j.1477-8947.2008.00200.x.
- Lopez-Gunn, E. et al. (2012a), "Taming the groundwater chaos", dans de Stefano, L. et M.R. Llamas (dir. pub.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can we square the circle?*, CRC Press, Londres.
- Lopez-Gunn, E. et al. (2012b), "Implications of the modernization of irrigation systems", dans de Stefano, L. et M.R. Llamas (dir. pub.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can we square the circle?*, CRC Press, Londres.
- Maliva, R.G. (2014), "Groundwater banking: opportunities and management challenges", *Water Policy*, vol. 16, n° 1, pp. 144-156.
- Martin de Santa Olalla, F. et al. (1999), "Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha, Spain", *Agricultural Water Management*, vol. 40, n° 2-3, pp. 195-205.
- Martín de Santa Olalla, F. et al. (2003), "Monitoring irrigation water use by combining Irrigation Advisory Service, and remotely sensed data with a geographic information system", *Agricultural Water Management*, vol. 61, n° 2, pp. 111-124.
- McCabe, D. (2013), "N-CORPE to help meet river flow needs", *Nebraska Farmer*, mars 2013, n° 14.
- McCarl, B. et al. (1999), "Limiting pumping from the Edwards Aquifer: An economic investigation of proposals, water markets, and spring flow guarantees", *Water Resources Research*, vol. 35, n° 4, pp. 1257-1268.
- McCarthy, E. (2014), "Biologist speaks out against deep-water wells", *Farm Focus of Atlantic Canada*, 8 mai 2014, <http://www.atlanticfarmfocus.ca/Agriculture/2014-05-08/article-3717650/Biologist-speaks-out-against-deep-water-wells/1>.
- McCook Gazette (2010), "\$3 million in penalties for water meter cheats", 25 juin 2010 : www.mccookgazette.com/story/1645392.html.

- McKusick, V. (2002), "State of Kansas v. State of Nebraska and State of Colorado: Joint Motion of the States for Entry of Proposed Consent Judgement and Approval and Adoption of Final Settlement Stipulation", Cour suprême des États-Unis (Supreme Court of the United States), 2002.
- Mechlem, K. (2012), "Legal and Institutional Frameworks", Thematic Paper 6, Groundwater Governance: A Global Framework for Action, FEM, FAO, UNESCO PHI, AIH et Banque mondiale.
- Montginoul, M. et al. (2014), "Controlling groundwater exploitation through economic instruments: Current practices, challenges, and innovative approaches", dans Wheeler, S. (dir. pub.), *Integrated Groundwater Management*.
- Morris, B. L. et al. (2003), "Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management", Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi, Kenya.
- Nebraska DNR et TPNRD (Nebraska Department of Natural Resources et Upper Republican Twin Platte Natural Resources District) (2013), Integrated Management Plan, Lincoln, Nebraska.
- Nebraska DNR et MRNRD (Nebraska Department of Natural Resources et Middle Republican Natural Resources District) (2010), Integrated Management Plan, Lincoln, Nebraska.
- Nebraska DNR et URNRD (Nebraska Department of Natural Resources et Upper Republican Natural Resources District) (2010), Integrated Management Plan, Lincoln, Nebraska.
- OCDE (2015a), "Le rôle des politiques publiques dans la promotion de l'adaptation dans l'agriculture" [COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2014)13/FINAL], OCDE, Paris, France.
- OCDE (2015b), *Water in cities : Ensuring sustainable future*, Études de l'OCDE sur l'eau, Editions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264230149-en>.
- OCDE (2015c), *Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities*, Études de l'OCDE sur l'eau, Editions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264229631-en>
- OCDE (2014a), *Changement climatique, eau et agriculture: Vers des systèmes résilients*, Études de l'OCDE sur l'eau, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235076-fr>.
- OCDE (2014b), "Water resources allocation: Country profiles", OCDE, Paris. www.oecd.org/fr/publications/water-resources-allocation-9789264229631-en.htm.
- OCDE (2013a), *Panorama de l'environnement 2013, Les indicateurs de l'OCDE*, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264185715-en>.
- OCDE (2013b), *Making Water Reform Happen in Mexico*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264187894-en>.
- OCDE (2012a), *A Framework for Financing Water Resources Management*, OECD Studies on Water, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264179820-en>.
- OCDE (2012b), "Meeting the water coherence challenge", in OECD, *Meeting the Water Reform Challenge*, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264170001-7-en>.
- OCDE (2012), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050: Les conséquences de l'inaction*, Éditions OCDE, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/env_outlook-2012-fr
- OCDE (2011), *Benefits of Investing in Water and Sanitation: An OECD Perspective*, Études de l'OCDE sur l'eau, Editions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264100817-en>.
- OCDE (2010a), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE, Paris. www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-studies-on-water_22245081

- OCDE (2010b), "Réponses des pays membres de l'OCDE à un questionnaire sur la gestion des ressources en eau dans l'agriculture", non publié, OCDE, Paris, disponible à l'adresse : www.oecd.org/fr/agriculture/44763816.pdf.
- Palazzo, A., et N. Brozović (2014), "The role of groundwater trading in spatial water management", *Agricultural Water Management*, n° 145, pp. 50-60, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.03.004.
- Peck, J.C. (2007), "Groundwater management in the High Plains Aquifer in the USA: Legal problems and innovations", dans Giordano, M. et K.G. Villholth (dir. pub.) (2007), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*, CABI, Oxford.
- Ribeiro, L. et L. Veiga da Cunha (2010), "Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects. Country report for Portugal", Conseil consultatif des Académies scientifiques européennes (EASAC), Bruxelles.
- Ronen, D.S. Sorek et J. Gilron (2012), "Rationales behind irrationality of decision making in groundwater quality management", *Ground Water*, vol. 50, n° 1, pp. 27-36, doi:10.1111/j.1745-6584.2011.00823.x.
- Saak, A.E. et J.M. Peterson, (2007), "Groundwater use under incomplete information", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 54, n° 2, pp. 224-228. doi:10.1016/j.jeem.2006.12.005.
- Scanlon, B.R., et al. (2012), "Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley", *Proceedings of the National Academy of Science*, doi:10.1073/pnas.1200311109.
- Schaible, G. et M. Aillery (2012), "Water Conservation in Irrigated Agriculture: Trends and Challenges in the Face of Emerging Demands", United States Department of Agriculture Economic Research Service, Economic Information Bulletin (EIB-99), Washington DC.
- Schoengold, K. et D. Zilberman (2007), "The Economics of Water, Irrigation, and Development", *Handbook of Agricultural Economics*, vol. 3, n° 6.
- Scott, C.A. et T. Shah (2004), "Groundwater overdraft reduction through agricultural energy policy: insights from India and Mexico", *International Journal of Water Resources Development*, vol. 20, n° 2, pp. 149-164.
- Shah, T. (2008), *Taming the Anarchy: Groundwater governance in South Asia, Resources for the Future*, Washington DC, États-Unis et International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Shah, T. et al. (2008), "Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India", *Agricultural Water Management*, vol. 95, n° 11, pp. 1233-1242.
- Sharatt, S. (2014), "PEI potato growers want deep well permits", *Farm focus of Atlantic Canada*, 16 janvier 2014, www.atlanticfarmfocus.ca/Agriculture/2014-01-16/article-3579226/PEI-potato-growers-want-deep-well-permits/1.
- Struzik, E. (2013). "Underground Intelligence: The need to map, monitor, and manage Canada's groundwater resources in an era of drought and climate change", Munk School of Global Affairs, University of Toronto, Toronto. <http://powi.ca/wp-content/uploads/2013/05/POWIUndergroundIntelligence-Struzik-June25.pdf>.

- Sommer, L. (2014), "As Water Prices Soar, Some Profit From California's Drought", 23 juin 2014, KQED Science, KQED Public Radio, Sacramento, Californie, États-Unis. Disponible à l'adresse : <http://blogs.kqed.org/science/audio/some-california-farmers-fallow-fields-others-sell-water-for-big-profits/#comments>.
- Sophocleous, M. (2012), "Conserving and extending the useful life of the largest aquifer in North America: the future of the High Plains/Ogallala aquifer", *Ground Water*, vol. 50, n° 6, pp. 831-9.
- Sophocleous, M. (2010), "Review: groundwater management practices, challenges, and innovations in the High Plains aquifer, USA—Lessons and Recommended Actions", *Hydrogeology Journal* (2010), vol. 18: 559–575.
- Turkish Ministry of Environment and Forestry (2009), "Water and DSI", Ankara.
- Walker, A. (2014), "Debate over potato irrigation rages on in PEI", Troymedia, 24 août 2014, <http://www.troymedia.com/2014/08/24/debate-over-potato-irrigation-rages-on-in-pei/>.
- Water in the West (2013), "The Water Energy Nexus: Literature Review", Institute for Sustainable Futures, Université de Stanford, Palo Alto, Californie, États-Unis.
- Wester, P., J. Hoogesteger et L. Vincent (2009), "Local IWRM organizations for groundwater regulation: The experiences of the Aquifer Management Councils (COTAS) in Guanajuato, Mexico", *Natural Resources Forum*, vol. 33, n° 1, pp. 29-38. doi:10.1111/j.1477-8947.2009.01206.x.
- Wichelns, D. (2010), "Agricultural Water Pricing: United States", in OCDE, Sustainable Management of Water Resources in Agriculture, Editions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264083578-16-en>.
- Worthington, B (2014), "Mapping and monitoring groundwater in Victoria", Vic Country Hour, ABC net Australia, avril 2014. Tiré de : www.abc.net.au/news/2014-04-29/victoria-groundwater/5417308.
- Wright, T. (2014), "Agriculture federation wades into deep wells debate", *The Guardian*, 14 mars 2014, www.theguardian.pe.ca/News/Local/2014-03-14/article-3650183/Agriculture-federation-wades-into-deep-wells-debate/1.
- Wright, W. et al. (2012), "Agricultural Groundwater Policy During Drought: A Spatially Differentiated Approach for the Flint River Basin", article retenu pour la réunion annuelle de l'Association d'agriculture et d'économie appliquée (AAEA) de 2012.
- Yarr, K. (2014a), "Groundwater politics: the high-capacity wells debate", CBC News, 13 juin 2014. www.cbc.ca/news/canada/prince-edward-island/groundwater-politics-the-high-capacity-wells-debate-1.2674811.
- Yarr (2014b), "Water for irrigation: the high-capacity well debate", CBC News, 18 juin 2014, www.cbc.ca/news/canada/prince-edward-island/water-for-irrigation-1.2674865.
- Young, R.K. (2014), "Tradable permit systems for a spatially heterogeneous externality: A microparameter approach", *thèse de maîtrise*, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Annexe 4.A1

**Calcul des indicateurs régionaux relatifs aux caractéristiques
et à la gestion des eaux souterraines**

Compte tenu du grand nombre de variables incomplètes, même au sein des vingt régions, il est difficile de procéder à une analyse statistique valable permettant de relier des caractéristiques à des politiques. C'est pourquoi un ensemble d'indicateurs a été élaboré sur la base des réponses au questionnaire, dans le but d'assurer que ceux qui représentent des caractéristiques augmentent systématiquement avec la probabilité de pressions sur les eaux souterraines (et vice versa), et que ceux qui représentent des politiques augmentent avec la portée des mesures prises par les pouvoirs publics pour maîtriser l'utilisation des eaux souterraines (et, à l'inverse, diminuent avec les mesures qui ne visent pas cette maîtrise, voire qui favorisent l'utilisation des eaux souterraines).

Les variables sont définies ci-après. Pour calculer chacune d'entre elles, on traduit en nombres discrets les catégories données dans le questionnaire - à l'aide de variables indicatrices ou sur la base des catégories correspondant aux réponses comme indiqué entre parenthèses. Par exemple, si "climat aride" est coché dans le questionnaire, c'est la valeur 4 qui sera retenue pour la variable AgClim. En cas de catégories multiples, une simple moyenne est appliquée.

**Tableau 4.A1.1. Définition des variables utilisées pour représenter les caractéristiques
des systèmes hydrogéologiques**

Question	Indicateur défini
Zone(s) agro-climatique(s) :	AgClim = Aride(4), Semi-aride(3), Tempérée(2), Humide(1)
Perspectives de changement climatique (années 2030-50) :	Cchum = Plus sec(2), Plus humide(1), Pas de changement significatif des précipitations(0) Cctemp = Plus chaud(2), Plus froid(1), Pas de changement significatif des températures(0) Ccflo = Inondations plus fréquentes Ccdry = Sécheresses plus fréquentes
Type d'aquifère :	Aqtype = Confiné(2), Non confiné(1), Mixte(1.5) AqGeol = Sableux et graveleux(1), Gréseux(2), Karstique(3), Volcanique(4), De socle(5)
Irrigation à partir d'eau de surface :	SWav = Les eaux de surface sont-elles disponibles ou non disponibles ? SWuse = Les eaux de surface sont-elles utilisées ou non utilisées pour l'irrigation ? SWimp = Sont-elles la source principale d'eau(1), utilisées en conjonction avec les eaux souterraines(2) ou rarement utilisées(3) ?
Volume d'utilisation des eaux souterraines en irrigation :	Gwuse = Volume d'utilisation des eaux souterraines en irrigation (année, estimation, unité) Gwevoluse = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)

suite

Tableau 4.A1.1. Définition des variables utilisées pour représenter les caractéristiques des systèmes hydrogéologiques (suite)

Question	Indicateur défini
Autres usages des eaux souterraines :	
<i>Domestique</i> :	UseDom = Mineur(1), Majeur(2) UseDomevol = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)
<i>Industriel</i> :	UseInd = Mineur(1), Majeur(2) UseIndevol = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)
<i>Minier</i> :	UseMin = Mineur(1), Majeur(2) UseMinevol = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)
<i>Énergie</i> :	UseEn = Mineur(1), Majeur(2) UseEnevol = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)
<i>Autre</i> :	UseOth = Mineur(1), Majeur(2) UseOthevol = En baisse(0.5), Stable(1), En hausse(1.5)
Externalités :	
<i>Augmentation des dénivelés/coûts de pompage</i> :	ExtPump = Mineur(1), Majeur(2) ExtPumpevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) Extyred = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Réduction du rendement des puits</i> :	Extyredevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtStrDep = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Tarissement des cours d'eau</i> :	ExtStrDepevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtVstr = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Stress végétatif</i> :	ExtVstrevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtPollu = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Pénétration d'eau polluée</i> :	ExtPolluevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtSal = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Salinité</i> :	ExtSalevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtAqcomp = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Compaction de l'aquifère</i> :	ExtAqcompevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtLsub = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Affaissement des sols</i> :	ExtLsubevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5) ExtOth = Mineur(1), Majeur(2)
<i>Autre</i> :	ExtOthevol = Hausse(1.5), Stable(1), Réduction(0.5)

Tableau 4.A1.2. Définition des variables utilisées pour représenter la gestion des systèmes hydrogéologiques

Question	Indicateur défini
Propriété des eaux souterraines :	Gwown = Privée(2), Publique(1), Les deux(1.5), Ni l'un ni l'autre (0)
Caractéristiques des droits sur les eaux souterraines :	Entchar = Permanents(1), Temporaires(2) EntLand = Attachés à des droits fonciers EntTrfr = Transférables
Bénéficiaires des droits :	EntBenInd = Individus EntBenComp = Entreprises
Système d'allocation des droits sur les eaux souterraines :	EntAlloc = Propriété absolue(4), Usage raisonnable(3), Droits corrélatifs(2), Appropriation préalable (1)
Plans de gestion des eaux souterraines :	ManPlan = Obligatoire(2), Volontaire(1), Aucun(0)
Coordination avec la gestion des eaux de surface :	ManConjUse = Systematique(2), Partielle(1), Limitée(0.5), Aucune(0)
Réglementation sur les puits :	RegWappr = Autorisation/permis de forage RegWspace = Prenant en compte la répartition spatiale des puits RegWeia = Comprenant l'évaluation des impacts environnementaux RegGW = Restrictions à l'extraction des eaux souterraines
Réglementation sur les terres irriguées :	Reglraea = Réglementation sur les superficies irriguées Regexplrar = Réglementation sur l'expansion de l'irrigation IrrLdBo = Rachat des terres irriguées
Obligation d'installer un système de comptage ou de suivi de l'utilisation des eaux souterraines :	MetAg = Utilisateurs agricoles Metfreq = Fréquence des rapports de suivi (mensuelle=0.5 et annuelle=1) MetEnf = Ces règles sont-elles respectées ? (oui=1)
Instruments économiques destinés à réguler la quantité : tarification	PriceAg = Y a-t-il des redevances sur l'eau pompée ? En agriculture PricCR = Si oui, sont-elles basées sur le principe de recouvrement des coûts ? En agriculture PricExt = Prennent-elles en compte des externalités environnementales ? En agriculture PricScar = Prennent-elles en compte la rareté de l'eau ? En agriculture
Marchés pour les eaux souterraines :	Gmtempent = Les droits de court terme peuvent-ils être mis sur le marché ? GMLTent = Les droits de long terme peuvent-ils être mis sur le marché ? GMentBo = Est-il possible d'acheter des droits pour les retirer du marché ?
Mécanismes de gestion collective :	Cmvol = Volontaires (auto-régulation) Cmreg = Encadrés par des réglementations Cmsta = Obligatoires Cmwua = Associations d'usagers de l'eau Cmdist = Gestion commune à l'échelle régionale Cmoth = Autre
Programmes de conservation de l'eau en agriculture :	AgWsub = Subventions AgWloan = Prêts AgWCond = Paiements conditionnels AgWpen = Pénalités AgWOth = Autre
Programmes d'irrigation :	IrrSub = Subventions à l'irrigation génériques IrrEffSub = Subventions axées sur l'efficacité des systèmes d'irrigation IrrEffLoan = Prêts pour améliorer l'efficacité de l'irrigation

Tableau 4.A1.2. Définition des variables utilisées pour représenter la gestion des systèmes hydrogéologiques (suite)

Programmes sur l'énergie :	ElecTax = Taxe sur l'électricité ElecSub = Subventions à l'électricité ElecOth = Autres programmes de soutien à l'énergie (gazole, gaz naturel)
Politiques foncières ayant une incidence sur l'utilisation des eaux souterraines	Lpolzon = Zonage assorti de restrictions sur l'utilisation des eaux souterraines Lpolreg = Système régional d'allocation privilégiant l'eau souterraine pour les autres usages LpolRUcoop = Coopération entre zones rurales et urbaines
Programme de conservation des bassins hydrographiques influant sur l'utilisation des eaux souterraines :	Wconszon = Zone d'exclusion pour la conservation Wconslim = Limites d'utilisation des eaux souterraines à proximité des aires protégées WconsentBO = Acquisition de droits sur les eaux souterraines à des fins de conservation
Programmes d'adaptation au changement climatique influant sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture :	CCpolIRD = Investissement dans la R-D agricole CCpolGw = Investissement dans la R-D sur les eaux souterraines Ccpolinf = Investissement dans les infrastructures de l'eau CCpolGwdata = Modélisation et développement de données sur les eaux souterraines
Programmes de recharge des aquifères :	ASR = Programmes de stockage et de récupération en aquifère Gwbank = Banques d'eaux souterraines InfPond = Bassins d'infiltration
Programmes soutenant le développement d'autres sources d'approvisionnement en eau :	Winfrexp = Expansion des réservoirs d'eau de surface Desal = Désalinisation RecycW = Eau recyclée RwHarvest = Collecte des eaux de pluie
Programmes de soutien des revenus agricoles :	SubBiof = Soutien à la production de biocarburants
Programmes d'assurance sécheresse :	SubDrInsCrop = Plans subventionnés pour les cultures de plein champ SubDrIns = Assurance gouvernementale

Tableau 4.A1.3. Formules utilisées pour calculer les indicateurs

Indicateur	Formule
État et caractérisation des systèmes d'utilisation des eaux souterraines en agriculture	
IndClim	$AgClim * (1 + Cchum + Cctemp + Ccflo + Ccdry)$
IndAq	$Aqtype + AqGeol$
IndSW	$SWav * (1 + SWuse) + SWimp$
IndGWuse	$Gwuse$
IndOtherUse	$(UseDom * UseDomevol) + (UseInd * UseIndevol) + (UseMin * UseMinevol) + (UseEn * UseEnevol) + (UseOth * UseOthevol)$
IndExt	$(ExtPump * ExtPumpevol) + (Extyred * Extyredevol) + (ExtStrDep * ExtStrDepevol) + (ExtVstr * ExtVstrevol) + (ExtPollu * ExtPolluevol) + (ExtSal * ExtSalevol) + (ExtAqcomp * ExtAqcompevol) + (ExtLsub * ExtLsubevol) + (ExtOth * ExtOthevol)$
Approches relevant de la gestion et de l'action des pouvoirs publics	
IndEntFTO	$Gwown * (1 + Entchar + EntLand + EntTrfr + EntBenInd + EntBenComp) + EntAlloc$
IndMan	$ManPlan + ManConjUse$
IndRegWell	$RegWappr * (1 + RegWspace + RegWeia)$
IndRegGW	$IndRegWell + RegGW * (1 + Reglrarea + Regexplrar) + IndMet + IndMan$
IndMet	$MetAg * (1 + Metfreq) * (1 + MetEnf)$
IndEconGW	$PriceAg * (1 + PricCR + PricExt + PricScar) + (Gmtemp * (1 + WconsentBO + GMentBo)) + (GMLTent * (1 + WconsentBO + GMentBo)) + EntTrfr + IrrLdBo + GMentBo$
IndCMGW	$Cmvol + Cmreg + Cmsta + Cmwua + Cmdist + Cmoth$
IndOthControl	$AgWloan + AgWCond + AgWpen + AgWOth + IrrEffSub + ElecTax + ElecOth + Lpolzon + Lpolreg + LpolRUcoop + Wconszon + Wconslim + CCpolRD + CCpolGw + Ccpolinfr + CCpolGwdata$
IndSupply	$ASR + Gwbank + InfPond + Winfrep + Desal + RecycW + RwHarvest$
IndOthConso	$SubBiof + SubDrlnsCrop + SubDrlns + IrrSub + AgWsub + ElecSub$

Note : ces indicateurs ont pour objet d'illustrer l'existence et le type de contraintes et d'approches de gestion rencontrées dans les régions. Leur construction n'est pas censée donner une mesure précise, mais permettre de projeter les données obtenues dans le questionnaire, à des fins de comparaison.

Annexe 4.A2

Résultats de l'analyse des indicateurs régionaux

Les treize indicateurs ont été comparés entre eux et via une corrélation par paire. Les indicateurs ont été uniformisés — en soustrayant la moyenne de l'échantillon et en la divisant par l'écart-type. L'objectif de cet exercice n'est pas d'en déduire des valeurs absolues significatives du stress et de la couverture des politiques, mais plutôt de permettre une comparaison de l'importance relative des types de contraintes et d'approches entre les régions. Les tableaux 4.9 et 4.10 montrent les indicateurs calculés utilisés pour l'analyse, et le tableau 4.11 les corrélations par paires. Les graphiques 4.10 et 4.11 donnent un aperçu des résultats lorsque les régions sont groupées par continent.

Tableau 4.A2.1. Indicateurs relatifs aux principales caractéristiques de la ressource et de son utilisation dans les quinze régions

	IndClim	IndAq	IndSW	IndGWuse	IndOtherUse	IndExt
AusMDB	14		3			
DenWJ	10	2.5	5		1.5	
FraDV	10	4.5	4		3	
FraNB	12	1.5	5	0.22	2	2
IsrWG	21	5	4		6	12.5
ItaC	18	1	3	0.013	5	1
JapKKH	7.5	5.5	4	0.205	2	2.5
JapKS	7.5	2.5	4	0.442	2	2
JapNS	7.5	2.5	4	0.103	2	1
KorJVI	10	5.5	3	0.319044	4.5	6
MAA	15	2	5	12.22	5.5	1
MexRL	18	3	2		4.5	19
MPW	21	1.5	4	24.7	9	8.5
NHPA	15	1	4	7.72	7.5	3
NldG	6	2	5	0.015	2	0
NldL	6	2.5	5		2	0
NldNB	6		5		6	
PorTRO	14	2	4	0.597	2	
SHPA	15	2	4.5	11.16	9	8
SpaMOc	12	3	3.5	0.0912	2	14

Source : D'après le questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture (voir les calculs à l'annexe 4.A1).

Tableau 4.A2.2. Indicateurs relatifs aux approches relevant de l'action des pouvoirs publics

	IndEntFTO	IndRegGW	IndEconGW	IndCMGW	IndSupply	IndOthControl	IndOthConso
AusMDB	8	4.5	6	0	1		
DenWJ	1.5	4					
FraDV	6	4	2	3	0.25	10	4
FraNB	7	5	2	4	0.25	10	3
IsrWG	8	12	2	2	2	7	1
ItaC						2	1
JapKKH	9	3	0	0	0.33	0	0
JapKS	9	6	0	0	0	0	0
JapNS	9	6	0	0	0	0	0
KorJVI	11.25	12.5	3	3	1.083	6	2
MAA	13	2	0	0	0	5	3
MexRL	12	7	7	3	1.75	5	2
MPW	12.5	5.5	2	1	0.917	5	3
NHPA	11	11.7	6	2	0.667	5	3
NldG	3	8	0	0	0	6	2
NldL	3	8	0	0	0	6	2
NldNB	3	8	0	0	0	6	2
PorTRO	13	8	3	2	0.25	12	4
SHPA	12	5	3	0	0	5	3
SpaMOc	9	13	3	3		12	1

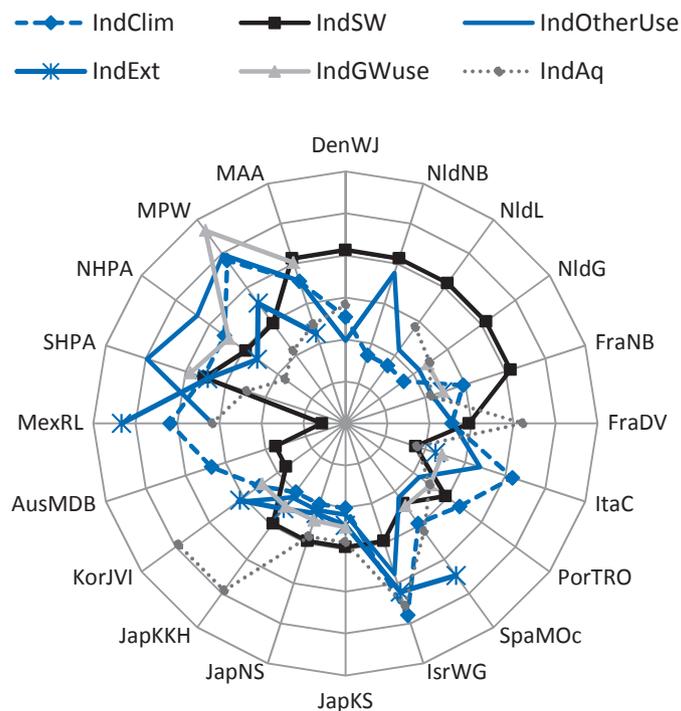
Source : D'après le questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture (voir les calculs à l'annexe 4.A1).

Tableau 4.A2.3. Corrélation par paire entre certains indicateurs

	IndEntFTO	IndRegGW	IndEconGW	IndCMGW	IndSupply	IndOthConso	IndOthCont
IndClim	0.62	0.11	0.58	0.34	0.70	0.27	0.15
IndSW	-0.51	-0.29	-0.73	-0.39	-0.71	0.22	0.11
IndAq	-0.07	0.16	-0.11	0.17	0.40	-0.29	-0.01
IndOtherUse	0.46	0.10	0.36	-0.10	0.32	0.33	-0.10
IndExt	0.42	0.38	0.69	0.54	0.85	0.06	0.40
IndGWuse	0.54	-0.30	0.16	-0.23	0.32	0.48	-0.03

Source : D'après le questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture (voir les calculs à l'annexe 4.A1).

Graphique 4.A2.1. Comparaison des indicateurs uniformisés relatifs aux caractéristiques des eaux souterraines dans les 20 régions



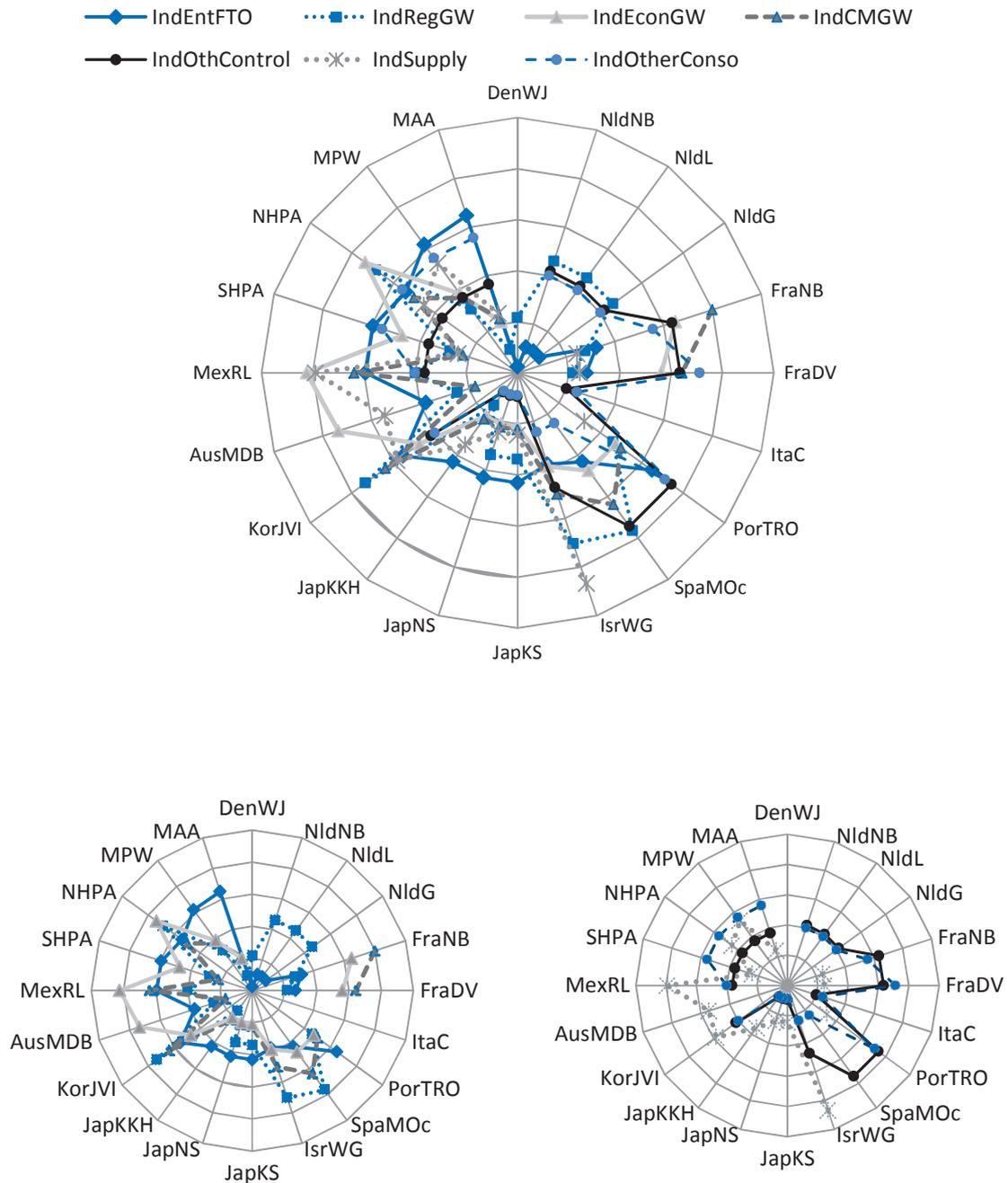
Chaque courbe représente une variable étudiée. La valeur des indicateurs est représentée par la distance qu'elles ont avec le centre du cercle. Par exemple, la région Western Jutland (DenWJ) est dotée d'une haute disponibilité en eau de surface (distance d'IndSW avec le centre) mais des variables indicatives plus basses pour les autres usages (IndOtherUse) et le climat (IndClim), avec des courbes plus proches du centre, car elle n'est pas confrontée à peu de compétition ou de contraintes climatiques significatives comparé aux autres régions.

Notes : AusMDB : Bassin Murray-Darling ; DenWJ : Jutland occidental ; FraNB : Nappe de Beauce ; FraDV : Département de la Vienne ; IsrWG : Galilée occidentale ; ItaC : Campanie (Ufita) ; JapKH : Kikuchi Heiya ; JapKS : Kinaguwa Seigu ; JapNS : Noubiheiya Seigu ; KorJVI : Île volcanique de Jéju ; MexRL : Región Lagunera ; NidG : Gelderland et Overijssel ; NidL : Limburg ; PBBS : Brabant septentrional ; IsrBJ : Haut-bassin du Jourdain ; MexRL : Región Lagunera ; PorTRO : Tejo e Ribeiras do Oeste ; SpaMOc : Mancha Occidentale ; MAA : Aquifère alluvial du Mississippi ; MPW : Montagnes et Pacifique Ouest ; NHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Nord ; SHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Sud.

Source : D'après les réponses au questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.

Graphique 4.A2.2. Comparaison des indicateurs relatifs à la politique et à la gestion des eaux souterraines dans les 20 régions

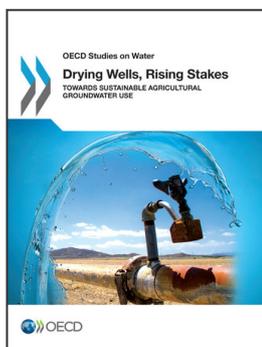
En haut : les sept indicateurs
 En bas à gauche : principales approches axées sur la demande En bas à droite : autres approches



Les courbes plus proche des centres des cercles représentent des indicateurs politiques plus bas, ou autrement dit un usage moins important de l'approche en question comparé au groupe. La région SpaMOc, par exemple, a un indicateur d'instruments réglementaire relativement élevé et un indicateur d'instruments économiques comparé aux autres.

Notes: AusMDB : Bassin Murray-Darling; DenWJ : Jutland occidental; FraNB : Nappe de Beauce; FraDV : Département de la Vienne; IsrWG : Galilée occidentale; ItaC : Campanie (Ufita); JapKH : Kikuchi Heiya; JapKS : Kinaguwa Seigu; JapNS : Noubiheiya Seigu; KorJVI : Île volcanique de Jéju; MexRL : Región Lagunera; NldG : Gelderland et Overijssel; NldL : Limbourg; PBBS : Brabant septentrional; IsrBJ : Haut-bassin du Jourdain; MexRL : Región Lagunera; PorTRO : Tejo e Ribeiros do Oeste; SpaMOc : Mancha Occidental; MAA : Aquifère alluvial du Mississippi; MPW : Montagnes et Pacifique Ouest; NHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Nord; SHPA : Aquifère des Hautes Plaines du Sud.

Source : D'après les réponses au questionnaire OCDE 2014 sur l'utilisation des eaux souterraines en agriculture.



Extrait de :

Drying Wells, Rising Stakes

Towards Sustainable Agricultural Groundwater Use

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789264238701-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2015), « Quelles sont les politiques de gestion des eaux souterraines en agriculture dans les pays de l'OCDE ? », dans *Drying Wells, Rising Stakes : Towards Sustainable Agricultural Groundwater Use*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264248427-6-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.