

La rivière, centre d'enjeux multiples

La rivière est le théâtre d'un jeu d'acteurs complexe. S'appuyant le plus souvent sur l'unité hydrologique du *bassin versant*, la gestion de ce milieu intègre des usages aussi variés que contradictoires. Eau potable, prévention des risques, agriculture, industrie, ressource piscicole, conservation et restauration du milieu,... La liste des problématiques liées à la rivière n'est pas limitée à ces quelques exemples.

Parmi l'ensemble de celles-ci, les principales, d'un point de vue économique, sont probablement :

1. la prévention des risques. Le risque d'inondation est particulièrement présent dans les esprits en milieu méditerranéen, où des rivières telles que le Gardon (départements de la Lozère et du Gard, France) manifestent occasionnellement des dynamiques très violentes, alors que leur cours est tranquille la majeure partie de l'année. Ce risque important est lié à des intérêts économiques majeurs dans ces régions où l'activité économique est forte et la démographie galopante.
2. les usages agricoles et industriels. Ceux-ci font l'objet de compromis serrés pour les rivières régulées comme la Durance (région Provence-Alpes-Côte d'Azur et département de la Drôme, France) fortement équipées pour la production d'hydroélectricité. Cette production revêt de plus un aspect hautement stratégique dans la production nationale d'électricité. Elle permet notamment de répondre aux pics de consommation.
3. les usages commerciaux. Les activités économiques "secondaires" liées à la rivière sont en effet en pleine expansion et très variées : activités balnéaires et d'eau vive sur la Durance, pêche sportive dans les rivières à salmonidés comme la Rivière du Gouffre (Québec, Canada). Le chiffre d'affaire de cette dernière activité représente plus de 90 millions de dollars pour la seule région de la Capitale-Nationale

(troisième région de pêche) et dépasse le milliard de dollars à l'échelle du Québec [[Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, 2004](#), p.6].

Le cas de la Durance présente l'avantage de concentrer une grande partie de ces enjeux : dans le passé, la Durance était crainte pour la violence de ces crues - de plus, la démographie est aujourd'hui en forte croissance dans cette vallée ; les activités agricoles et industrielles, notamment la production d'hydroélectricité, constituent des postes économiques de premier plan ; enfin les usages récréatifs de l'eau sont aussi très présents, avec le sport en eaux vives et le tourisme autour du plan d'eau de Serre-Ponçon. On utilisera donc cette rivière comme support pour présenter le contexte expliquant le besoin de caractériser la géométrie 3D des rivières.

Cette rivière est fortement aménagée ; à l'origine afin de se protéger des effets des inondations et, plus récemment, pour la production d'énergie électrique ainsi que l'irrigation [[Balland et al., 2002](#)]. Par ailleurs, son patrimoine écologique en fait une région d'intérêt : la Durance constitue une ichthyorégion particulière au sein du bassin versant du Rhône [[Changeux et Pont, 1995](#)]. Elle présente des espèces typiques telles que l'apron (*Zingel asper*) ou le barbeau méridional (*Barbus meridionalis*). L'ensemble de ces caractéristiques fait de cette rivière un site test idéal en ce qui concerne la problématique de l'optimisation des usages et en particulier des débits et régimes réservés¹.

Situation géographique et histoire de la Durance

La Durance est un affluent du Rhône dont la confluence se trouve en aval d'Avignon (84), à une vingtaine de mètres d'altitude. Elle prend sa source vers 2300 mètres d'altitude sur les pentes du sommet des Anges, entre le massif du Chenaillet et du Janus dans les Hautes-Alpes (05). Elle draine ainsi un bassin versant d'un peu plus de 14 000 km², situé en majeure partie en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (dont il occupe la moitié de la superficie) ainsi qu'en Drôme (figure 1.1) [[SMAVD, 2008](#)].

Historiquement, cette rivière était crainte pour la dureté de ses événements extrêmes (crues et étiages). Elle a subi dès le XII^{ème} siècle une dérivation de ses eaux, pour en utiliser la force motrice, ainsi que pour l'irrigation en deuxième usage [[Balland et al., 2002](#)]. Au XVI^{ème} siècle, d'autres aménagements ont eu lieu, conduisant à la première

¹le débit minimal, fixé par les lois sur l'eau, est au moins égal au dixième du module ; il est fixé au quarantième pour les installations construites avant le 29 juin 1984. Les régimes réservés, possibilité offerte elle aussi par la loi sur l'eau, visent à faire varier le débit de manière saisonnière. Une expérimentation est actuellement en cours sur la Durance avec un débit égal au vingtième du module annuel en hiver et égal au quatorzième du module annuel en été.



FIG. 1.1 - *Situation géographique de la Durance en France. Données : IGN-BD CARTHAGE® et IGN-GéoFLA® Départements*

sortie des eaux de la Durance hors de son bassin versant, pour l'irrigation du bassin de la Crau. Au XIX^{ème} siècle des travaux de plus grande envergure ont été engagés afin de maîtriser les crues et de fertiliser les terres par apport de limons. [Rabotin, 2002]. Enfin, c'est au milieu du XX^{ème} siècle qu'ont été lancées les constructions des grands barrages tels que ceux du lac de Sainte-Croix (Var et Alpes-de-Haute-Provence) ou encore de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes, Alpes-de-Haute-Provence), qui a longtemps été la plus grande retenue d'Europe par son volume, et qui est toujours le plus grand réservoir artificiel de France avec une contenance de 1,2 milliards de mètres cubes [SMAVD, 2008].

1.2 Hydrologie

La Durance s'écoule sur un peu plus de 300 kilomètres, avec une dénivellation de plus de 2000 mètres. Cette forte différence d'altitude donne des cours d'eau très contrastés sur le bassin versant.

1.2.1 Données naturelles

Sans aménagement, le débit interannuel moyen à l'exutoire était d'environ $180m^3.s^{-1}$, soit près de 6 milliards de mètres cubes drainés par la Durance sur une année [SMAVD, 2008].

Son régime est de type pluvio-nival méditerranéen avec d'une part, une influence nivale de la tête de bassin, caractérisée par des crues printanières et des étiages estivaux, et, d'autre part, une influence pluviale méditerranéenne avec des crues en hiver et des étiages en été, ainsi qu'une forte variabilité interannuelle. L'influence nivale est dominante et conduit à des mois de hautes eaux en avril mai juin et des mois de basses eaux en août et septembre. Les crues centennales ont un débit de $5000m^3.s^{-1}$. Les étiages naturels les plus sévères n'ont jamais été inférieurs à $30m^3.s^{-1}$ [SMAVD, 2008].

Les crues sont morphogènes pour des débits au niveau du pont de Mirabeau (Alpes-de-Haute-Provence) supérieurs à $100m^3.s^{-1}$ [Juramy et Monfort, 1985], à partir desquels ont lieu des remaniements et des transports solides. Selon le débit, la morphologie de la rivière peut varier du chenal principal d'écoulement avec présence possible de petits chenaux secondaires (situation actuelle pour la moyenne Durance en débit réservé), au lit en tresses, jusqu'à un lit unique, chenaux noyés (au delà de $5000m^3.s^{-1}$).

1.2.2 Données actuelles

Suite aux aménagements de la rivière, l'hydrologie de la Durance a été profondément modifiée à l'aval du barrage de Serre-Ponçon [Warner, 2000]. Ces modifications sont illustrées sur la figure 1.2 et les chroniques de débit actuelles sont présentées sur le diagramme 1.3. Hors événements ponctuels, le débit à la station de Bonpas (Vaucluse), située à une vingtaine de kilomètres de la confluence, est limité au débit réservé de $1/40^{eme}$ du module naturel, soit $4.7m^3.s^{-1}$ [Rabotin, 2002]. Cette valeur est à comparer avec les étiages naturels les plus sévères ($30m^3.s^{-1}$).

L'eau drainée par le bassin versant de la Durance circule à présent en majeure partie dans les canaux artificiels utilisés pour la production d'hydroélectricité, l'irrigation, et l'alimentation en eau de la basse Provence. L'exutoire principal de ces canaux qui suivent dans leur partie aval le trajet d'un ancien canal du Pléistocène [Juramy et Monfort, 1985] est l'étang de Berre, situé au sud du bassin versant naturel actuel de la Durance.

Les ouvrages hydrauliques ont pour effet de réduire les petites et moyennes crues

LA DURANCE D'HIER ET D'AUJOURD'HUI

LE DÉBIT MOYEN ANNUEL DE LA SOURCE AU CONFLUENT

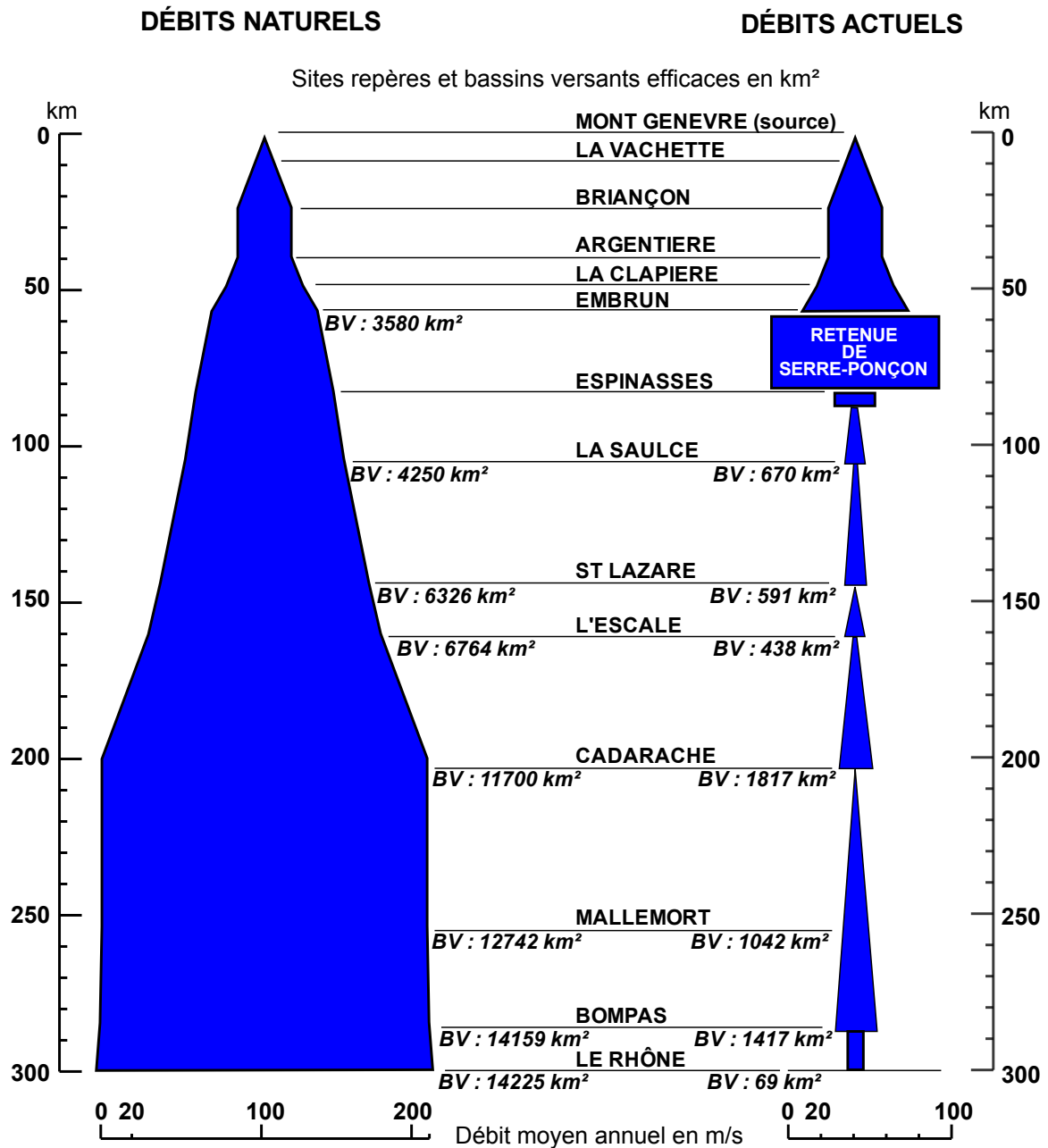


FIG. 1.2 - Influence des ouvrages sur le débit observé dans le lit mineur (adapté de [Balland et al., 2002])

tel-00818380, version 1 - 25 Jul 2013

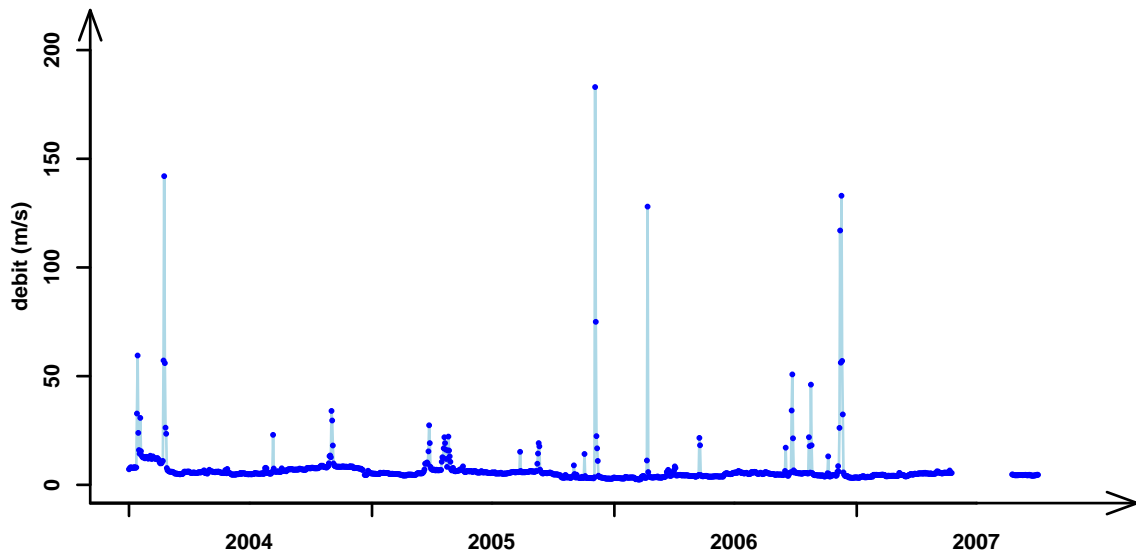


FIG. 1.3 - Débits journaliers moyens sur la Durance à La Brillanne (Source : DIREN PACA/HYDRO-MEDD/DE [HYDRO, 2008])

voire de les supprimer dans la partie haute du bassin versant. En revanche, les effets des plus fortes crues restent très sensibles, par exemple, la crue centennale à l'aval de Serre-Ponçon est de $1000m^3.s^{-1}$ au lieu de $1900m^3.s^{-1}$ avant aménagement [SMAVD, 2008]. Certaines crues de la partie moyenne du bassin versant peuvent conduire à des "lâchés" dans le lit naturel, une fois écrêtées du débit maximal de $250m^3.s^{-1}$ pouvant passer dans les canaux artificiels. Du fait de cette capacité d'absorption limitée des ouvrages, et de l'importante contribution des affluents, les fortes crues ont quasiment gardé leurs caractéristiques naturelles en aval du barrage de l'Escale.

1.2.3 Morphologie

Dans la partie haute du bassin versant, le tronçon² de Durance à l'amont du barrage de Serre-Ponçon et ses affluents sont des torrents de type alpins, et ont conservé pour la plupart leur morphologie naturelle.

A l'aval de Serre-Ponçon, plus précisément à l'aval de l'Escale, la Durance avait avant les années 1950 un lit en tresse à bras multiples fortement divaguant. La largeur du lit actif pouvait atteindre un kilomètre. Aujourd'hui, seule la partie située entre le

²on peut se référer à la figure 1.4 pour la définition de la sectorisation morphoécologique d'un cours d'eau

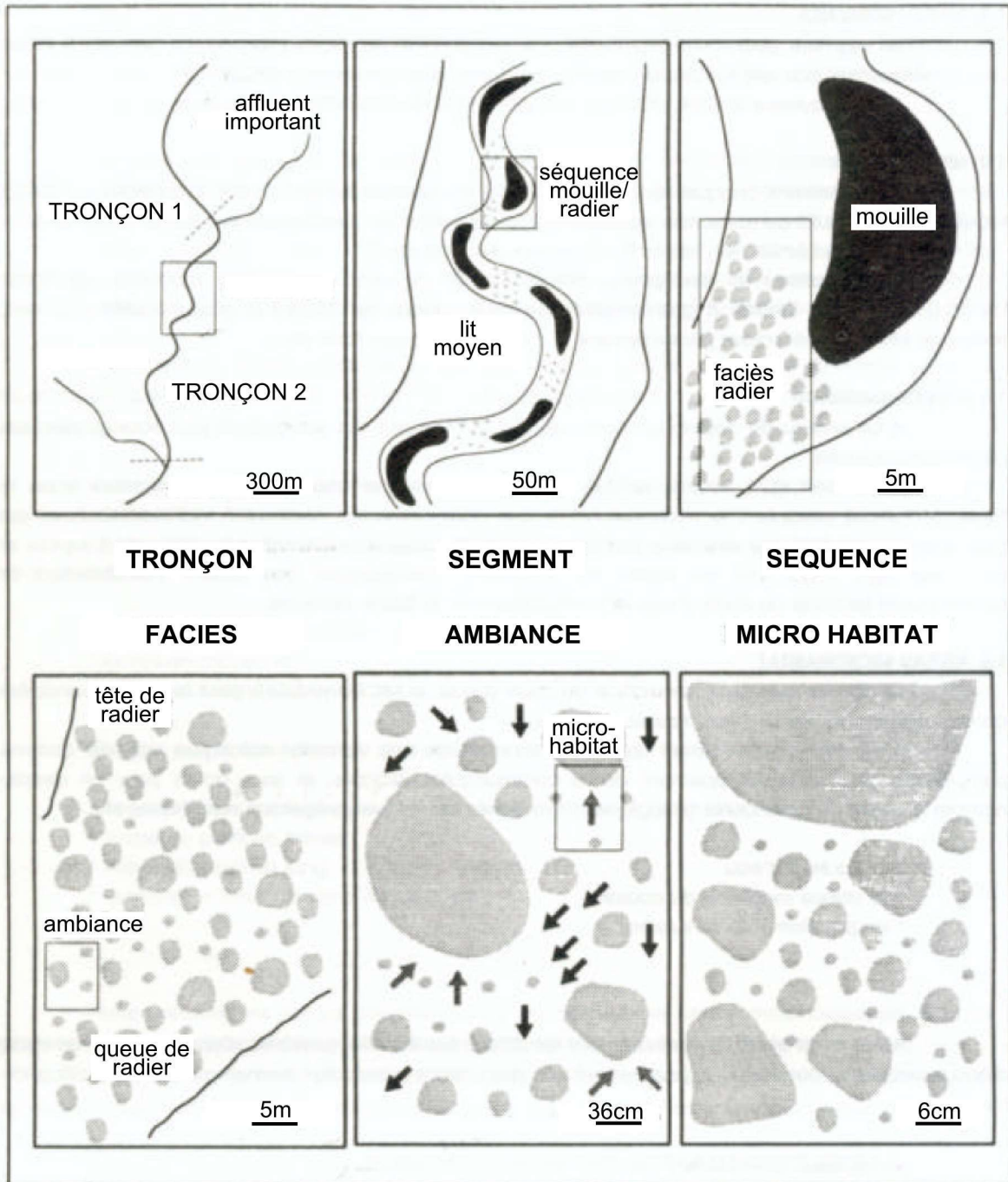


FIG. 1.4 - Sectorisation morphoécologique d'un cours d'eau (extrait et adapté de [Malavoi, 1989])

tel-00818380, version 1 - 25 Jul 2013

barrage de l'Escale et Cadarache conserve des apports naturels suffisants pour maintenir un tressage, mais sous une forme dégénérée : la végétation pousse sur les bancs émergés et l'on observe une tendance à la fixation du lit et à son encombrement, contre lequel des essartements (coupes des arbres et arbustes) sont régulièrement réalisés.

A l'aval de Cadarache les apports sont limités et le lit est peu mobile.

1.3 Biologie

Même s'il est difficile de définir un état écologique de référence, du fait des aménagements qui ont été réalisés très tôt sur la Durance, quelques études, notamment celle de Louis Léger en 1934 sur une partie du bassin versant permettent d'évaluer l'influence des ouvrages les plus récents [Rabotin, 2002].

Pour exemple, on reprend ici un texte publié par le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Durance sur son site internet, où l'influence des ouvrages sur les espèces de poissons est discuté :

"La faune de la Durance post-aménagement est désormais moins variée, moins abondante et ne contient pratiquement que des espèces peu exigeantes en terme d'habitat. [...] Les espèces les plus polluosensibles et les plus exigeantes en terme d'habitat sont devenues marginales. Seuls quelques rares secteurs hébergent encore une faune variée possédant des organismes sensibles à la pollution.

36 espèces ont été recensées au total [...] mais cette richesse apparente masque une représentation et une répartition inégale de ces espèces [...]. Le peuplement se caractérise par la faiblesse de la représentation de certaines espèces ou le caractère aléatoire de leur présence : truites, apron, bouvière, rotengle, loche de rivière... et par un déséquilibre marqué des peuplements en place dominés par quelques espèces de cyprinidés : chevesne, spirilin, blageon dans les zones courantes et brèmes au niveau des souilles.

[...] La quasi permanence de faibles débits entraîne un cloisonnement longitudinal par insuffisance de la lame d'eau sur certaines têtes de radiers ; la concentration et l'exacerbation des pollutions et de leurs manifestations (proliférations algales) ; l'amplification de l'effet traumatisant des crues (variations hydrologiques plus brutales et présentant une amplitude plus forte).

[...] Il est à noter que des opérations destinées à rétablir la continuité piscicole en aval du barrage de Mallemort ont été engagées depuis 2002 en anticipation du Contrat de Rivière du Val de Durance : aménagement de

passes à anguilles [...] et étude de franchissabilité des seuils [...]." [SMAVD, 2008]

On dispose de moins d'informations concernant la faune benthique. Cependant, l'étude de celle-ci devrait pouvoir fournir dans le futur une vision plus détaillée de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. Il semble en effet possible de discriminer la part des différents facteurs humains sur la variation des écosystèmes par l'étude des macro-invertébrés [Charvet et al., 2000].

1.4 Les multiples usages de l'eau de la Durance

De part ses multiples usages, un jeu d'acteurs très complexe intervient sur la Durance, entre partenaires publics, privés, collectivités territoriales, associations. Des contraintes nouvelles, liées à la protection et à la remise en état des milieux imposées par les nouvelles lois nationales et européennes, sont apparues. Les données correspondant à tous ces usages, reportées dans les sections suivantes, sont en majeure partie extraites du rapport de la mission Balland conduite en 2001 [Balland et al., 2002]. La figure 1.5 donne une idée de l'équipement du bassin versant et des territoires voisins en retenues artificielles et canaux de dérivation.

1.4.1 Agriculture : irrigation

Le besoin d'irrigation de la Basse Durance, ainsi que, de l'autre côté des limites du bassin versant, la plaine de la Crau, a motivé la construction des premiers ouvrages déviant les eaux de la Durance. Aujourd'hui, ce sont près de 200 millions sur les 1, 2 milliards de mètres cubes des eaux de Serre-Ponçon et 250 millions de mètres cubes des eaux du Verdon qui sont alloués aux usages agricoles par convention entre EDF et le Ministère de l'Agriculture.

L'irrigation rendue possible par ces dispositifs, associée au climat favorable de la région, a permis de développer une agriculture dynamique (fruits et légumes, principalement). On estime le chiffre d'affaire annuel associé à 950 millions d'euros.

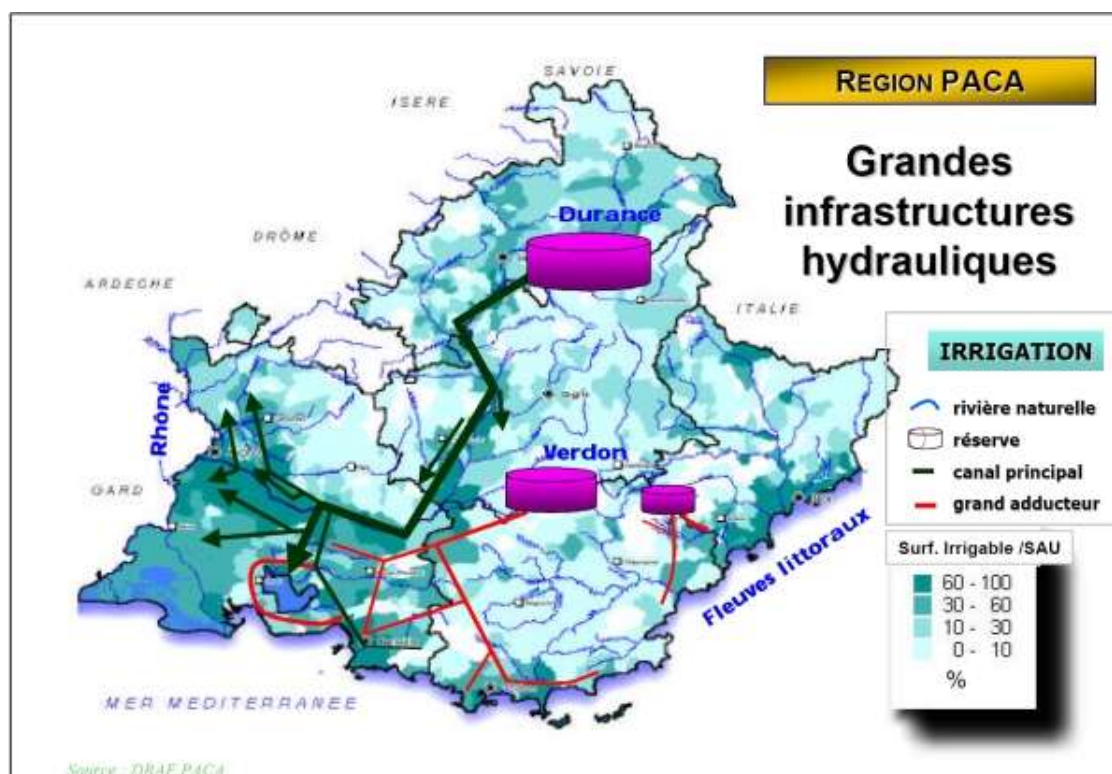


FIG. 1.5 - Les grandes infrastructures hydrauliques en PACA (extrait de [Balland et al., 2002])

tel-00818380, version 1 - 25 Jul 2013

1.4.2 Production d'électricité

Comme il a été évoqué dans la section précédente, la production d'électricité est une activité économique majeure, ayant conduit à la construction d'ouvrages importants (canaux de dérivation, notamment le canal "usinier" de 185 kilomètres de long et d'une capacité de $250m^3.s^{-1}$, retenues artificielles, usines hydroélectriques). La production annuelle moyenne représente, avec plus de 6 milliards de kilowatt-heures, 1/10^{ème} de l'ensemble de la production d'électricité hydraulique française. L'ensemble des centrales hydroélectriques utilisant les eaux du bassin versant de la Durance - totalisant la puissance équivalente de 2 centrales nucléaires - est capable de fournir au réseau national 1800 mégawatts en moins de 10 minutes. Ceci constitue 15% des moyens nationaux de production de pointe. L'hydroélectricité produite en Durance est donc hautement stratégique. Enfin, le chiffre d'affaire annuel induit pour la région a été évalué à 450 millions d'euros par la mission Balland [Balland et al., 2002].

1.4.3 Alimentation en eau potable, eau industrielle et eau agricole

Ces usages correspondent aux droits d'eau gérés par la société du Canal de Provence. Ces droits, dont le total dépasse les 600 millions de mètres cube, sont utilisés pour l'instant à hauteur de 200 millions de mètres cubes [Balland et al., 2002]. La vente d'eau représente des recettes de 56 millions d'euros (chiffres 2001), correspondant pour 10% à un usage agricole, 26% à un usage rural non agricole, 32% à un usage industriel et 32% à un usage urbain. Cette distribution d'eau a lieu par l'intermédiaire d'un réseau de plus de 4700 kilomètres, allant jusqu'à Marseille et au littoral varois. Cet investissement, chiffré à 2 milliards d'euros, pose des problèmes d'amortissement et d'entretien.

1.4.4 Usages émergents

1.4.4.a L'eau en tant que milieu

L'eau n'est plus seulement considérée comme une ressource ou un bien marchand mais comme un *milieu*. La directive cadre européenne de 2000 a en effet fixé un objectif de bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2015 ainsi que le principe de non dégradation.

Or, dans l'état actuel des choses, seule la partie de la Durance à l'amont de Serre-Ponçon répond aux objectifs de la directive cadre. En effet, à l'aval, les étiages les plus sévères sont passés de $30m^3.s^{-1}$ à 3 à $4m^3.s^{-1}$, le régime des hautes eaux a presque disparu (moins de 4 jours par an à plus de $200m^3.s^{-1}$ au lieu de 100 jours par an originellement), ne subsistant ainsi que les crues extrêmes.

La dégradation du milieu physique est manifeste : en conséquence des débits faibles coulant en rivière la majeure partie de l'année, le lit n'est plus constitué que d'un chenal d'une dizaine de mètres encadré de bancs rapidement colonisés par la végétation au lieu d'un lit actif de 500 à 600 mètres avec lit mineur en tresses. De plus, les transports solides ont été fortement modifiés. Pour exemple, le volume de charriage est passé de $500000m^3$ par an à $40000m^3$ à l'aval de Cadarache. Cela a notamment un effet sur la côte méditerranéenne : on observe en effet un recul des plages qui peut être expliqué en partie par le manque de sédiments.

Cette dégradation du milieu physique (disparition du régime naturel, des crues moyennes, quasi permanence de l'étiage) a conduit à une dégradation des écosystèmes tout à fait réelle (section 1.3).

1.4.4.b Usages touristiques et récréatifs

Plusieurs sections de rivières naturelles, ainsi que plusieurs retenues EDF (lacs de Serre-Ponçon et de Sainte-Croix) sont exploitées à des fins touristiques. La mission de l'inspection générale de l'environnement de 2001 (Rapport Balland) évalue le chiffre d'affaire annuel de cette activité à 100 à 150 millions d'euros. Les problématiques sont variées, allant du maintien de l'altitude des plans d'eau artificiels pour la période touristique à la gestion du risque lié aux lâchés, voire à une gestion spécifique des lâchés permettant la pratique du sport en eau-vive.

1.5 Le risque d'inondation

Comme précisé plus haut, si les ouvrages mis en place ont permis de diminuer les petites et moyennes crues, ils restent transparents aux grandes crues. De plus, les aménagements mis en place peuvent conduire à une aggravation brutale des aléas en

cas de ruptures ou de déversement. Enfin l'augmentation de la vulnérabilité, due en partie à une impression de sécurité laissée par la disparition des effets des petites et moyennes crues, a fortement augmenté les effets des aléas exceptionnels. Les crues de 1994 ont mis en lumière cette réalité.

L'enjeu vis à vis du risque d'inondation est d'autant plus fort que la vallée est en croissance démographique, accompagnée du développement des infrastructures, zones industrielles et zones habitées.

1.6 Synthèse - Enjeux - Site d'étude

Comme on l'a vu dans les sections précédentes, la vallée de la Durance est - de longue date - le théâtre d'enjeux multiples, que [Balland et al., 2002] classent en eau électrique, eau agricole, eau potable, eau industrielle, eau "inondante", eau ludique et eau écologique. Les aménagements qui ont été effectués sur la Durance sont considérables (entre autres les grands barrages, les canaux de déviation conduisant la majeure partie du flux vers l'étang de Berre) et ont pour but de répondre aux nombreux usages de l'eau de la Durance.

Si les conflits d'usage étaient jusqu'alors modérés hors sécheresse, *l'équilibre est fortement remis en cause* dans la situation actuelle. D'une part, par un effet indirect dû à la diminution du nombre des crues, amplifié par une pression démographique croissante, la vulnérabilité aux inondations a fortement augmenté. D'autre part, la relative satisfaction de l'ensemble des usages n'a pu avoir lieu qu'au prix d'emprunts colossaux au milieu naturel, qui ont profondément modifié le style fluvial originel (voir section 1.2.2).

Avec l'émergence et le développement de la demande en eau écologique, la problématique de *l'optimisation des débits réservés* se complexifie et prend de nouveaux visages, parmi lesquels : l'utilisation des chasses hydrauliques pour la gestion du milieu aquatique, la réalisation d'essartements sélectifs, favorisant la diversité écologique et limitant le vieillissement et l'établissement de forêts dans le lit majeur.

La Durance est un exemple représentatif des nouvelles problématiques de gestion liées à la rivière. L'apparition de nouvelles contraintes, par exemples écologiques, mais aussi le durcissement des contraintes existantes dû aux pressions démographiques crois-

santes rend nécessaire une connaissance de plus en plus fine du fonctionnement de cet hydrosystème, de manière à ajuster les processus de prise de décision.

La meilleure prise en compte de ces problématiques, concernant divers domaines (écologie, aménagement, sécurité, agriculture, industrie,...), passe donc par le développement de nouveaux moyens de mesure. En rivière on envisage par exemple l'utilisation de stations de jaugeage virtuelles [Creutin et al., 2003], ou encore de stations virtuelles de mesures du niveau de l'eau par satellite pour les grands bassins versants [Bercher et al., 2006, Bercher et Kosuth, 2007].

Ces méthodes restent pour la plupart à développer. Les nouvelles contraintes liées à la gestion amènent donc un transfert des problématiques thématiques (comprendre un phénomène) vers des problématiques méthodologiques (développer des moyens de mesure). Ce transfert est abordé dans le chapitre qui suit.