

La production d'hydroélectricité consiste à convertir l'énergie potentielle d'une **chute d'eau** en énergie électrique. Elle représente, en 2008, 10 % de la production nationale, et 95 % de l'électricité issue d'énergies renouvelables. On s'intéresse, compte tenu du potentiel ardennais, à la petite hydroélectricité, c'est-à-dire à des installations dont la puissance ne dépasse pas 10 MW.

L'électricité fournie peut être directement utilisable, il s'agit alors d'autoconsommation. L'installation peut également être raccordée au réseau, l'électricité produite sera utilisée par des particuliers, des collectivités ou des entreprises.



Figure 1 : différents types d'installations hydroélectriques

En partant de la vignette en haut à gauche, sens horaire : écluse, Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP), fil de l'eau, lac

I – État des lieux

1°/ Potentiel ardennais

- **Gisement physique brut**

Ces données ne sont pas disponibles. Des études sur le potentiel hydroélectrique ont été faites pour les bassins versants Rhin-Meuse et Seine-Normandie, mais les données concernant les Ardennes (résultats Meuse-Sambre et Vallées de l'Oise) spécifiquement ne sont pas accessibles. Cependant, ces données sont inutiles, étant donné que nous avons le potentiel net.

- **Contraintes techniques**

La puissance d'une installation hydroélectrique est proportionnelle à la hauteur de chute et au débit, ainsi qu'au rendement du système qui convertit l'énergie potentielle de l'eau en énergie électrique :

$$P = k * g * Q * h$$

g : accélération de la pesanteur, égale à 9,81 m/s²

k : rendement du système de conversion (produit des rendements de la turbine, du multiplicateur, de l'alternateur et du transformateur) ; le produit k * g est compris entre 6 et 8 habituellement

Q : débit en m³/s

h : hauteur en m

P : puissance installée en W

Dans certains documents, la puissance donnée est la puissance maximale brute, qui ne tient pas compte du rendement : si on note PMB la puissance maximale brute, $PMB = g * Q * h$.

On voit donc que plus le dénivelé est important, et que plus le débit est élevé, plus la puissance de l'installation augmente.

Le productible, exprimé en Wh (ou un de ses multiples le plus souvent), est obtenu en multipliant la puissance par le nombre d'heures de fonctionnement :

$$E = P * t_f$$

E : productible en Wh

P : puissance installée en W

t_f : temps de fonctionnement en h ; les résultats présentés ici, issus des études des Agences de l'Eau Seine-Normandie et Rhin-Meuse, ont pris pour référence un temps de fonctionnement de 3500 h par an pour les installations de type lac ou éclusée, et de 4700 h par an pour les installations au fil de l'eau (à titre d'information, une année comporte 8766 h).

En général, le productible est donné pour une année de fonctionnement : on l'exprime en Wh par an.

Il existe actuellement des systèmes performants pour les faibles hauteurs de chute. L'un d'eux est la turbine VLH (Very Low Head), qui peut fonctionner à partir d'une hauteur de chute de 1,4 m, pour un débit minimal de 10 m³/s. Ces turbines sont adaptées pour des puissances faibles, de 100 à 500 kW.

Si l'installation ne fonctionne pas en autoconsommation, il faut qu'elle puisse avoir accès à un **poste de raccordement**.

- **Avantages et inconvénients environnementaux**

La production d'hydroélectricité ne génère **pas d'émissions de gaz à effet de serre** en fonctionnement. Toutefois, certains scientifiques avancent que des barrages de taille importante peuvent être à l'origine d'émissions de méthane, produites par des bactéries au niveau du lac de barrage. Ces études sont encore très controversées, et concernent plutôt, a priori, des ouvrages de grande taille, qui sortent de l'objet de notre étude.

Le principal impact des installations hydroélectriques sur l'environnement concerne **la continuité écologique des cours d'eau** : en effet, ces installations constituent des obstacles de taille pour les poissons migrateurs, comme l'anguille ou le saumon. Ces deux espèces (ainsi que d'autres, comme la lamproie, moins emblématiques) ont la particularité de passer une partie de leur vie en mer, et l'autre en eau douce : les anguilles adultes se reproduisent dans la mer des Sargasses (constituée d'une partie de l'Atlantique Nord, au Nord Est des Antilles), puis les larves d'anguilles migrent vers les eaux douces d'Europe. A l'état adulte, quand elles ont atteint la maturité sexuelle, elles effectuent le voyage en sens inverse, et vont se reproduire en mer des Sargasses. Concernant le saumon, c'est le contraire : il se reproduit en eau douce, et vit à l'état adulte dans l'océan. Ainsi, les sites Natura 2000 liés à la protection des amphihalins sont un enjeu fort vis à vis des centrales hydroélectriques. Ces sites dans les Ardennes sont les prairies de la vallée de l'Aisne, les forêts de la vallée de la Semoy, le massif de Signy l'Abbaye, la forêt du Mont Dieu et la vallée boisée de la Houille.

Les installations hydroélectriques peuvent également entraîner une **modification profonde des écosystèmes situés en amont et en aval**. Ainsi, le débit en aval peut être fortement ralenti, ce qui modifie les propriétés hydrologiques du cours d'eau. La sédimentation peut aussi être affectée : la partie aval reçoit moins de sédiments grossiers, ce qui peut provoquer une érosion du lit du cours d'eau. Des sédiments fins, et riches en matière organique, peuvent être piégés et s'accumuler dans la partie amont, provoquant un envasement de la rivière. Ces modifications sont fonction de la taille et du type de l'ouvrage.

Concernant les poissons migrateurs, l'aménagement de passes à poissons adaptées, attractives et bien entretenues est une solution. De plus, l'utilisation de turbines VLH réduit fortement la mortalité des animaux lors du passage dans ces turbines¹. Des passes adaptées ainsi que la mise en place de ces turbines permettent de réduire l'impact environnemental des centrales hydroélectriques sur les populations de poissons migrateurs.

Signalons enfin que les produits nécessaires à l'entretien de l'installation peuvent être une source de pollution.

Si l'installation se présente sous forme de barrage, il y a un **risque de rupture**. Les petites centrales hydroélectriques ne sont que peu concernées par ce genre de risque, étant de taille modeste, et fonctionnant au fil de l'eau la plupart du temps.

● **Avantages et inconvénients sociaux**

Au niveau du **nombre d'emplois** qui peuvent être générés par la petite hydroélectricité, nous ne disposons que de chiffres nationaux (*source : ADEME*) : 368 ETP à l'investissement et l'exportation d'équipement, et 3535 ETP en fonctionnement, en 2007. Nous pouvons néanmoins avoir une idée de ce que ceci pourrait représenter dans les Ardennes, sachant que le productible national s'élève à 2 TWh, dont 0,045 TWh dans les Ardennes (hors STEP) : si on suppose que le nombre d'emplois est proportionnel au productible, la petite hydroélectricité représenterait 2,37 ETP en investissement, et 22,7 ETP en fonctionnement dans les Ardennes. Si on fait une autre hypothèse, à savoir que le nombre d'ETP en fonctionnement est proportionnel au nombre de centrales, on obtient 55 ETP dans les Ardennes, étant donné qu'il y a 28 ouvrages dans le département, et 1800 en France. Ce chiffre est probablement surestimé : en général, l'exploitant d'une petite centrale paie une personne (qui a un emploi par ailleurs) pour l'entretien et la surveillance, qui n'y passe que quelques heures. Quant à la STEP de Revin, elle emploie 29 salariés.

¹ Communication personnelle de M. Monnier (ONEMA), étude en cours

Signalons en outre que la rénovation des moulins pourrait peut être générer quelques emplois indirects grâce au tourisme (écomusées).

Il peut y avoir un **conflit d'usage entre l'hydroélectricité et certaines activités**, comme la pêche, la navigation ou les sports d'eau (kayak). Dans les Ardennes, ce sport se pratique sur l'Aisne, la Meuse, le canal des Ardennes et la Semoy. Cependant, pour la pêche, l'impact peut être positif sur certains aspects : l'eau peut être mieux oxygénée en aval par exemple. Des mesures d'aménagement peuvent modérer ces impacts (passes à canoë-kayak).

L'acceptabilité, pour les petites centrales, est assez bonne, surtout pour les stations fonctionnant au fil de l'eau, si des mesures sont prises pour respecter la continuité écologique des cours d'eau et pour assurer les usages récréatifs liés au cours d'eau.

● Avantages et inconvénients économiques

Si l'installation ne fonctionne pas en autoconsommation, l'électricité peut être achetée. De plus il y a **obligation d'achat par EDF** pour toute centrale dont la puissance est inférieure à 12 MW, c'est à dire toutes les centrales relevant de la petite hydroélectricité.

Les tarifs d'achat sont les suivants, à partir du 1^{er} mars 2007 :

		Tarif (c€/kWh)	Prime pour les petites installations (prime MP) (c€/kWh)		
			0 < P ≤ 400 kW	600 kW < P ≤ 2500 kW	P > 3000 kW
Tarif à une composante		6,07	2,5	0,5	0
Tarif à deux composantes	Hiver	8,38	3,45	0,69	0
	Été	4,43	1,82	0,36	0
Tarif à quatre composantes	Hiver, heures pleines	10,19	4,2	0,84	0
	Hiver, heures creuses	5,95	2,45	0,49	0
	Été, heures pleines	4,55	1,87	0,37	0
	Été, heures creuses	4,25	1,75	0,35	0
Tarif à cinq composantes	Hiver, heures de pointe	17,72	7,3	1,46	0
	Hiver, heures pleines	8,92	3,67	0,73	0
	Hiver, heures creuses	5,95	2,45	0,49	0
	Été, heures pleines	4,55	1,87	0,37	0
	Été, heures creuses	4,25	1,75	0,35	0

Figure 3 : tarifs d'achat de l'électricité

(Source : Journal officiel, texte 7 du n° 95, paru le 22 avril 2007)

Pour les puissances comprises entre 400 kW et 600 kW, ou 2500 et 3000 kW, le tarif est obtenu par interpolation linéaire.

Les contrats signés avant le 1^{er} mars 2007 sont régis par l'arrêté du 25 juin 2001 et leur tarif d'achat est différent.

L'obligation d'achat constitue une aide au fonctionnement. Il existe quelques aides financières à l'investissement dont le détail peut être demandé auprès du pôle énergie renouvelables.

Malgré cela **la rentabilité** des très petites centrales n'est pas toujours assurée. Prenons l'exemple de la réhabilitation du moulin d'Hannappes : l'investissement initial est de l'ordre de 250 000 € hors taxes, pour une puissance de 20 kW et un productible de 85 500 kWh, et les recettes annuelles sont de 8421 €, générées par la vente de l'électricité produite. Le temps de retour sur investissement est de 23 ans, sans les coûts de fonctionnement (faibles).

● **Gouvernance**

Il n'y a **pas de formation dans les Ardennes**, mais il en existe ailleurs en France

Il n'y a qu'un seul **fabricant** au monde de turbines VLH, qui est situé à Millau. Pour l'instant deux turbines sont en service en France, à Millau et dans la Mayenne (centrale de la Roche), mais de nombreuses commandes ont été faites : 16 dans la Mayenne (au total), 2 en Alsace, une à Clairvaux, 2 en Belgique et 2 en Italie.

Les petites centrales hydroélectriques peuvent obtenir **la norme ISO 14001**, qui concerne le management environnemental. Par exemple, certaines centrales (situées en dehors des Ardennes) ont été certifiées ISO 14001 après avoir fait des aménagements visant à améliorer le transit des sédiments ou des poissons migrateurs, ou encore en utilisant des huiles biodégradables pour l'entretien des turbines.

L'utilisation des cours d'eau pour produire de l'électricité peut générer des conflits, notamment en ce qui concerne l'état écologique du cours d'eau. Plusieurs lois encadrent donc les installations hydroélectriques :

- Les installations datant d'avant 1790 bénéficient du droit fondé en titre ; elles ne sont soumises à aucune demande d'autorisation, sous réserve que l'installation ne soit pas modifiée, mais peuvent faire l'objet d'un aménagement pour les passes à poissons.
- **Loi du 16 octobre 1919** : Les installations dont la jouissance (produit du débit maximum de dérivation et de la hauteur de chute) est inférieure à 4500 kW sont soumises à autorisation, les autres au régime de concession. L'autorisation ou la concession sont accordées pour une durée de 40 ou 75 ans. Toutefois, les installations établies avant le 16/10/1919, dont la puissance n'excède pas 150 kW bénéficient d'une autorisation, sans limitation de durée.
Dans le cas d'une concession, l'organisme instructeur est la DREAL, alors qu'il s'agit de la DDEA pour une autorisation.
Cette loi définit également des cours d'eau réservés, qui ne peuvent faire l'objet d'aucune construction de centrale hydroélectrique. Il n'y en a pas dans les Ardennes.
- **Loi sur l'eau (dite LEMA ; article L-214 du code de l'environnement)** : " Sont soumis à autorisation de l'autorité administrative les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître

notablement le risque d'inondation, de porter gravement atteinte à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique, notamment aux peuplements piscicoles. " Il faut fournir une étude d'impact à la DDEA pour une demande d'autorisation d'installation hydroélectrique.

- **Loi sur la pêche (29/06/84)** : si le module du cours d'eau est inférieur à 80 m³/s, le débit minimal en aval doit être supérieur à 10 % du module, le module étant le débit moyen interannuel évalué au droit de l'ouvrage, à partir de données couvrant au moins 5 ans. Si le module est supérieur à 80m³/s, le débit minimal en aval doit être supérieur à 5% du module.
- **Décret n° 2007-1760 du 14 décembre 2007, sur les cours d'eau réservés** : les cours d'eau de la liste 1 assurent la protection complète des poissons migrateurs ; aucune nouvelle concession ni autorisation ne peuvent être accordées, et le renouvellement des installations existantes se fait à condition de maintenir un très bon état écologique des eaux et d'assurer la migration des poissons migrateurs. Sur les cours d'eau de la liste 2, tout ouvrage doit être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative ; les installations doivent assurer la circulation des poissons migrateurs et le transport suffisant des sédiments. Ces listes doivent être établies avant 2014.
Les critères de classification sont les suivants : un cours d'eau de la liste 1 doit être dans un très bon état écologique, et jouer le rôle de réservoir biologique. La protection complète des poissons migrateurs amphihalins est nécessaire sur ce tronçon. Un cours d'eau de la liste 2 est un cours d'eau pour lequel il est nécessaire d'assurer le transport des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.
- **Directive cadre sur l'eau** : cette directive européenne fixe pour 2015 un bon état général des eaux

Nous pouvons signaler qu'au niveau européen, **le plan de gestion anguille** a été mis en place pour faire face au déclin de la population de ce poissons migrateur, qui prévoit notamment un taux d'échappement de 40% des anguilles vis à vis des barrages, c'est à dire que 40% de la population théorique d'anguilles, soustraite à la mortalité d'origine anthropique, doit atteindre l'océan. En France, en pratique, on considère l'effectif de la population avant l'effondrement des années 80. Ce plan prévoit, parmi d'autres mesures, l'arrêt temporaire du turbinage si nécessaire.

La construction et la surveillance des barrages est également réglementée.

2°/ Les installations existantes

Il existe **28 ouvrages hydroélectriques dans les Ardennes**, qui relèvent de la petite hydroélectricité, ainsi qu'**une Station de Transfert d'Energie par Pompage, à Revin**, d'une puissance de 720 MW.

La STEP fonctionne sur le principe suivant : elle comporte un bassin inférieur (bassin de Whitaker) et un bassin supérieur (bassin des Marquisades), séparés par un dénivelé maximal de 245 m. L'installation peut fonctionner sous 2 régimes : soit l'eau est transférée du bassin supérieur au bassin inférieur, ce qui produit de l'électricité aux heures de pointe, soit l'eau est pompée du bassin inférieur vers le bassin supérieur, en heures creuses, processus qui consomme de l'électricité. Ainsi, l'énergie gravitationnelle de l'eau peut être stockée, et la station peut fournir de l'électricité sur demande, aux moments où c'est le plus nécessaire. Ce genre d'installation joue un rôle important dans la régulation du

réseau. Le rendement est de l'ordre de 0,73. L'électricité fournie par les STEP n'est pas considérée comme renouvelable, dans la mesure où elle consomme de l'énergie.

Les petites centrales hydroélectriques représentent une puissance installée totale de 10,8 MW, et un productible de 45 000 MWh par an dans les Ardennes, en 2007. L'électricité produite permet d'approvisionner l'équivalent de 15 000 foyers en électricité spécifique.

On remarque que la majorité des installations se trouvent sur la Meuse.

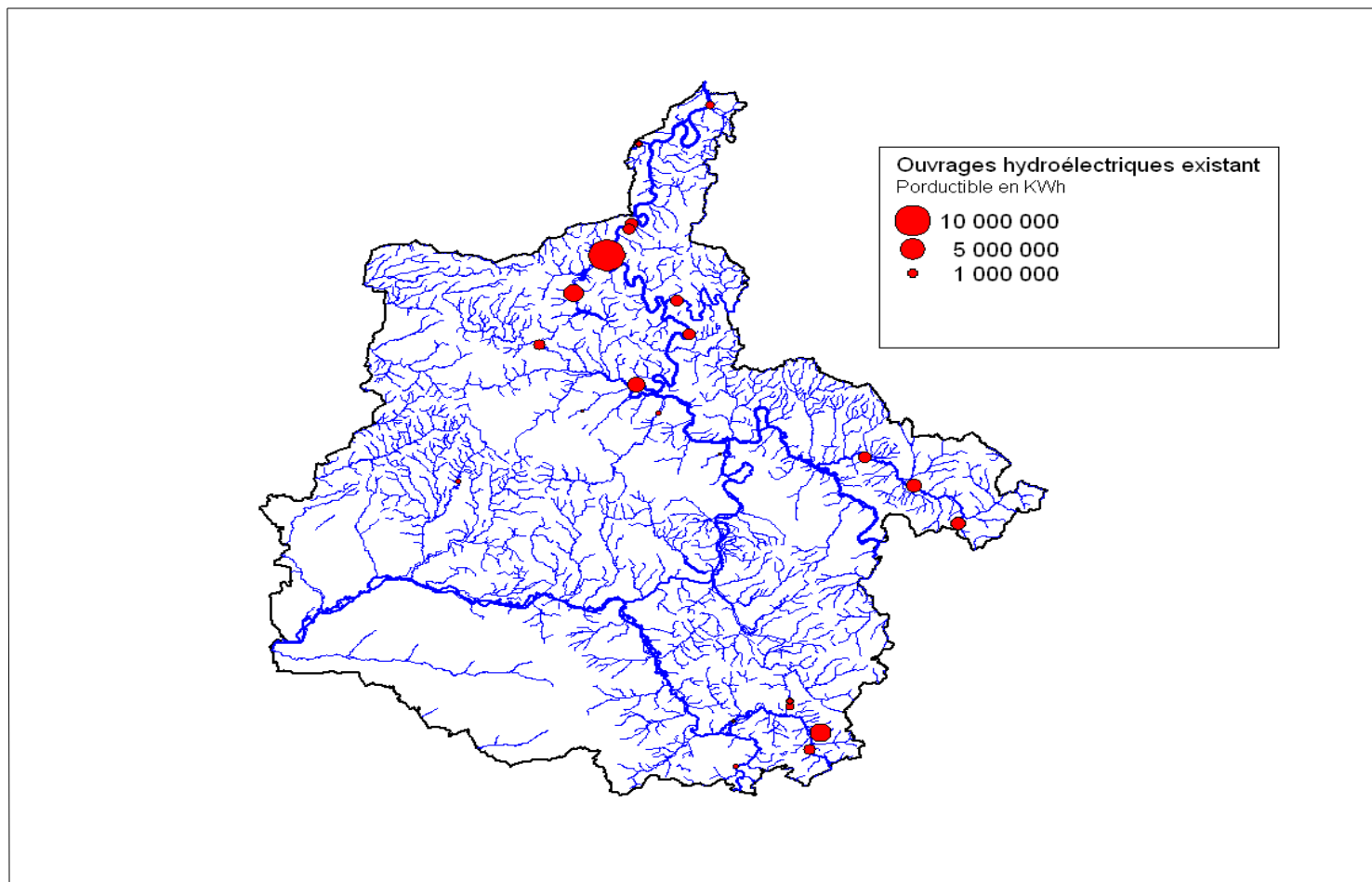


Figure 6 : installations hydroélectriques dans les Ardennes

(Source : Agences de l'Eau, mise en carte : DDEA08)

3°/ Potentiel de développement restant

- Il existe **68 ouvrages non hydroélectriques**, dont la hauteur de chute est supérieure à 2 m, qui représentent une puissance potentielle de 37,5 MW, et un productible potentiel de 178 174 MWh (soit 59 391 équivalent-ménages) :

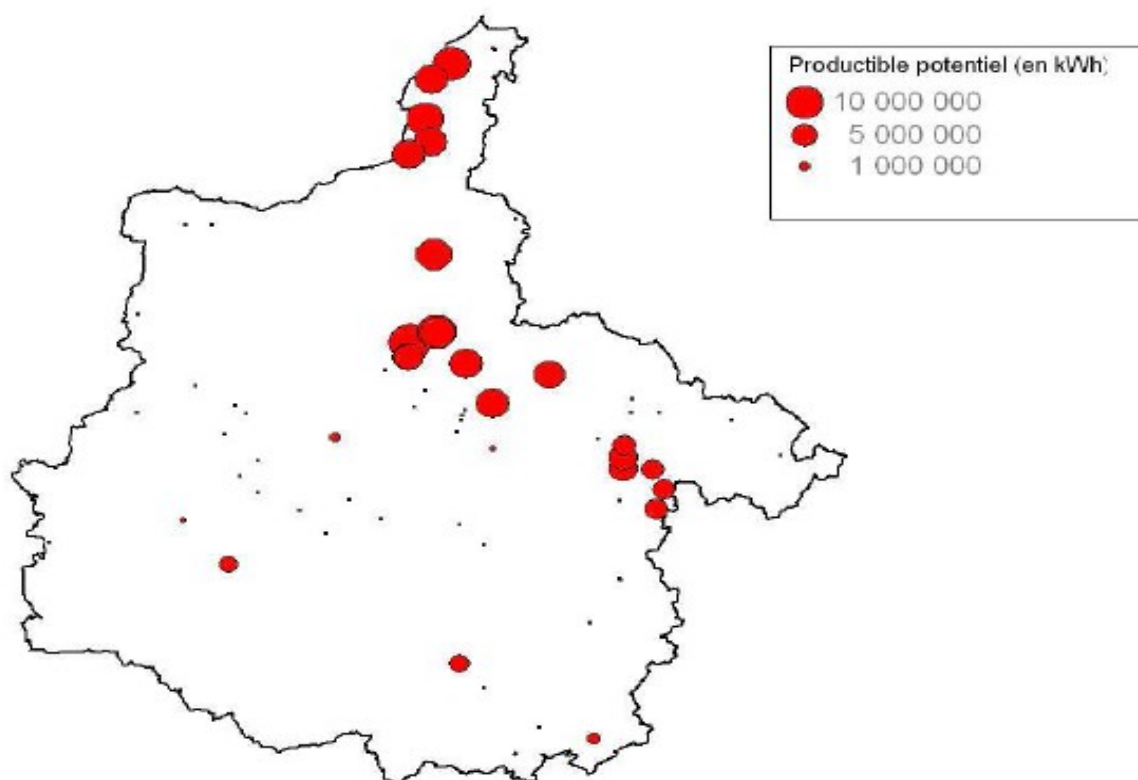


Figure 7 : ouvrages non hydroélectriques

(Source :Agences de l'eau, mise en carte : DDEA)

On voit donc que les ouvrages non hydroélectriques situés le long de la Meuse, barrages à aiguille en cours de modernisation par VNF sous forme d'un partenariat public-privé, présentent un bon productible potentiel, et qu'il serait intéressant de les équiper de centrales hydroélectriques.

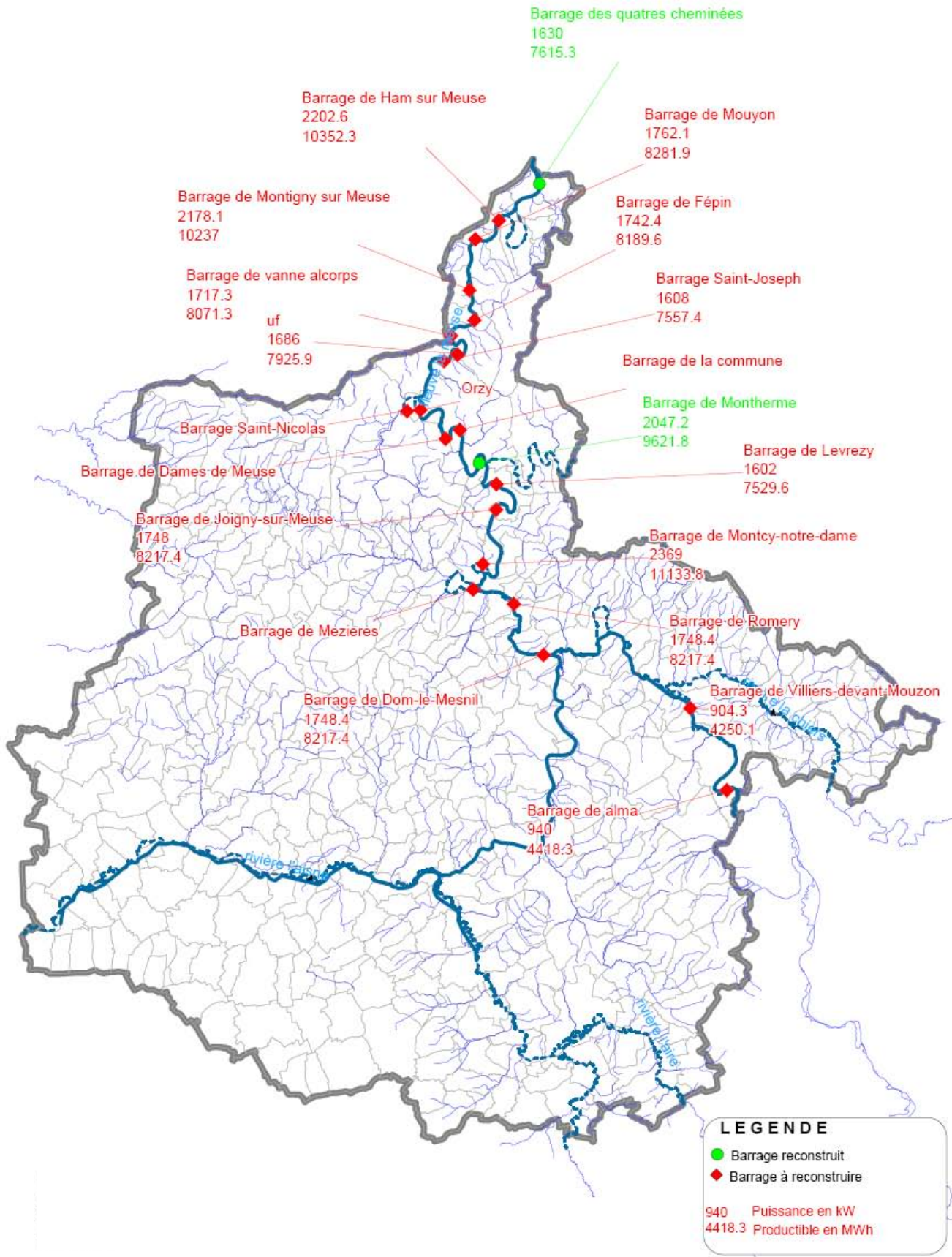
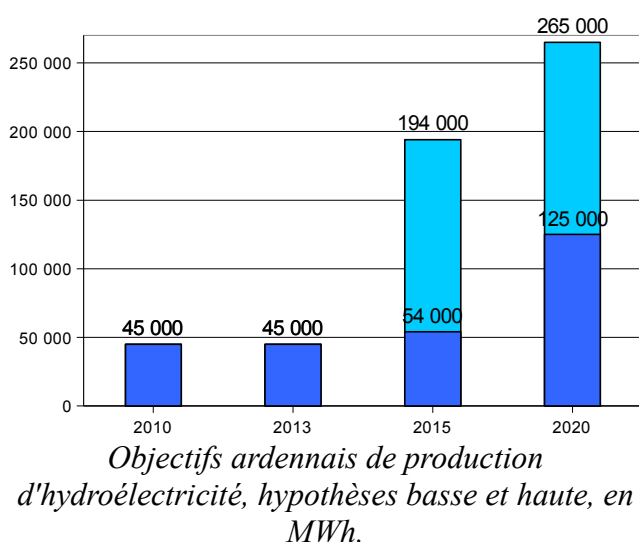


Figure 9 : barrages à aiguilles de VNF et productible potentiel
(Source : VNF)

Si on compte les barrages de Givet et Monthermé, il y a 21 barrages dans les Ardennes ; des données de potentiel hydroélectrique sont disponibles pour 16 d'entre eux : la puissance installée totale potentielle serait de 27,6 MW, et le productible total potentiel de 129 836,7 MWh.

L'optimisation des ouvrages existants pourrait permettre un gain de 45 000 MWh (15 000 équivalents-ménages). Cependant, la loi POPE permet de n'augmenter, sur déclaration simple, que 20% de la puissance. Un doublement de la puissance installée nécessiterait des démarches administratives longues.

II- Les objectifs de développement dans les Ardennes



Les objectifs de développement de l'énergie hydroélectrique sont fixés, pour 2013, au même niveau que le productible actuel, soit 45 000 MWh ; compte tenu des incertitudes liées à l'équipement ou non des barrages le long de la Meuse, des objectifs en hypothèses basse ou haute sont formulés pour 2015 et 2020.

Ainsi, les objectifs 2015 hypothèse haute correspondent aux objectifs 2013 auxquels on ajoute l'intégralité du potentiel du PPP VNF (140 000 MWh environ) et 20% du potentiel d'optimisation (9 000 MWh), soit 194 000 MWh.

Les objectifs 2015 hypothèse basse sont calculés à partir des objectifs 2013 et de 20% du potentiel d'optimisation (9 000 MWh), soit 54 000 MWh.

Les objectifs 2020 hypothèse haute correspondent à l'intégralité du potentiel ardennais, soit 265 000 MWh. Les objectifs 2020 hypothèse basse correspondent aux objectifs 2015 auxquels on ajoute les 80% restants parmi le potentiel d'optimisation (36 000 MWh), et le potentiel d'équipement hors PPP VNF (175 000 – 140 000 = 35 000 MWh), soit 125 000 MWh.

Bibliographie

Évaluation du potentiel hydroélectrique du bassin Seine Normandie, Agence de l'eau Seine Normandie

Évaluation du potentiel hydroélectrique du bassin Rhin Meuse, Agence de l'eau Rhin Meuse

Rapport sur les perspectives de développement de la production hydroélectrique en France, présenté au ministère de l'économie, des finances et de l'industrie par M. Dambrine

Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau sur les seuils en rivière, Agence de l'eau Loire Bretagne

Plan de gestion anguille de la France, volets locaux des unités de gestion Rhin-Meuse et Seine-Normandie

Marchés, emplois et enjeu énergétiques des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2006-2007 – perspectives 2012, ADEME

www.ecologie.gouv.fr

www.legifrance.gouv.fr

www.ademe.fr

www.cler.org

www.onema.fr

www.vnf.fr

Communications personnelles de : Mme Ledoux, M. Caruel, M. Collombat, M. Monnier, M. Simon et M. Magnier