

Microsystèmes

hydroélectriques

Guide de l'acheteur



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

La mosaïque numérique du Canada, réalisée par Ressources naturelles Canada (Centre canadien de télédétection), est une image composite de plusieurs images satellites. Les nuances d'ombrages reflètent les différences de densités de la couverture végétale.

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires de cette publication ou d'autres publications sur l'efficacité énergétique offertes gratuitement, veuillez vous adresser à :

Direction des ressources en électricité
Programme d'encouragement aux systèmes d'énergie renouvelables
Ressources naturelles Canada
580 rue Booth, 11^{ème} étage
Ottawa, ON K1A 0E4
Sans frais : 1 877 722-6600
Courriel : redi.penser@rncan.gc.ca
Internet : www.rncan.gc.ca/penser

REMERCIEMENTS

Le texte a été préparé par le Programme d'énergie hydraulique, Technologies des énergies renouvelables, Centre de la technologie de l'énergie de CANMET (CTEC), en collaboration avec la Division de l'énergie renouvelable et électrique (DERE), Direction des ressources en électricité, Ressources naturelles Canada (RNCan). Révision et contributions au texte de l'Office de l'efficacité énergétique de RNCan, Energy Systems & Design Inc., Homestead Hydro Systems, Morehead Valley Hydro Inc., Thompson and Howe Energy Systems Inc., Josée Bonhomme, Robert Clark, Scott Davis et Stephen Graham.

Microsystèmes hydroélectriques : Guide de l'acheteur

Le présent guide est offert aux fins d'information seulement. Les opinions qu'il renferme ne sont pas nécessairement celles du gouvernement du Canada. Rien dans le présent guide ne doit être interprété comme étant une recommandation à l'égard des produits ou des entités commerciales qui peuvent y être mentionnés. Le gouvernement du Canada, ses ministres, ses représentants, ses employés et ses agents ne donnent aucune garantie à l'égard du présent guide et n'assument aucune responsabilité qui pourrait découler de son contenu.



Papier recyclé

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2004

N° de catalogue : M144-29/2004F

ISBN 0-662-75667-3

Also available in English under the title:

Micro-Hydropower Systems: A Buyer's Guide

TABLE DES MATIÈRES

À propos du guide	2
1.0 Qu'est-ce que la microproduction hydroélectrique?	3
1.1 Pourquoi la microhydroélectricité?	4
1.2 Comment évaluer un site potentiel?	5
1.3 Une option intéressante pour vous?	5
2.0 Planification d'un projet	7
2.1 Évaluation du potentiel électrique	7
2.2 Taille minimale	10
2.3 Évaluation des besoins en électricité	10
2.4 Gestion de la demande énergétique	12
2.5 Étude de faisabilité	13
2.6 Dimensionnement	14
2.7 Questions et approbations environnementales	15
3.0 Composants de base	17
3.1 Ouvrages de génie civil	17
3.2 Composants de la centrale	20
3.3 Systèmes d'entraînement	23
3.4 Régulateurs de charge électroniques	24
3.5 Réseau de transport et de distribution	25
4.0 Choix d'un système	26
4.1 Microsystèmes à accumulateurs	26
4.2 Microsystèmes à courant alternatif	28
4.3 Microsystèmes connectés au réseau	30
5.0 Coûts liés au système	31
5.1 Coût initiaux	31
5.2 Coûts annuels	32
5.3 Évaluation des coûts d'un système	32
6.0 Achat d'un microsystème hydroélectrique	34
6.1 Conseils d'un expert	34
6.2 Choix d'un fournisseur	34
6.3 Sécurité	35
7.0 Installation, exploitation et entretien	36
7.1 Construction et installation	36
7.2 Mise en service et mise à l'essai	36
7.3 Exploitation et entretien	37
8.0 Autres renseignements	38
Annexe A Détermination de la hauteur de chute et du débit	39
Annexe B Exemple de fiche de données	44
Annexe C Charges typiques des électroménagers	45
Annexe D Fiche d'estimation des coûts	47
Glossaire et abréviations	48
Bibliographie	50
Sites Web utiles	51
Sondage	53

À PROPOS DU GUIDE

Les microsyntèmes hydroélectriques suscitent de plus en plus l'intérêt chez les propriétaires de résidences ou d'autres bâtiments non desservis par un réseau électrique. Ce guide de l'acheteur vous aidera à décider si un microsyntème hydroélectrique est une option viable pour vous.

- Il présente l'ABC du fonctionnement des microsyntèmes hydroélectriques.
- Il prodigue des conseils sur la manière d'évaluer vos besoins énergétiques.
- Il présente les principaux composants des microsyntèmes hydroélectriques.
- Il montre la manière de déterminer si un microsyntème hydroélectrique est rentable pour vous.
- Il donne des exemples concrets de microsyntèmes hydroélectriques.

Ce guide n'est pas un manuel d'installation. Il peut ne pas offrir tous les renseignements qui vous permettront de savoir si un microsyntème hydroélectrique vous convient. Ce guide se veut plutôt une introduction utile lorsque vous envisagez l'achat d'un microsyntème pour une maison, un chalet, un ranch, une auberge, un camp, un parc, une petite collectivité ou une collectivité des Premières nations situés en région éloignée et hors réseau.

Les microsyntèmes hydroélectriques peuvent être complexes. Leur conception, en général, est unique au site qu'ils occupent; leur installation requiert des compétences techniques; ils nécessitent certains travaux d'entretien. Vous devez faire appel à une personne qualifiée pour évaluer la faisabilité d'un tel système, ainsi que pour le concevoir et l'installer. Avant de prendre une décision finale, consultez les organismes gouvernementaux et votre service public d'électricité afin de vous assurer que votre projet satisfait aux exigences des codes d'électricité, aux règlements de construction et aux règlements régissant le site.

1.0 Qu'est-ce que la micro-production hydroélectrique?

Les cours d'eau et les chutes ont un potentiel d'énergie. En convertissant l'énergie de l'eau qui coule en énergie mécanique utile, au moyen d'une roue hydraulique ou d'une turbine, on peut obtenir de l'hydroélectricité. L'énergie mécanique est convertie en électricité au moyen d'une génératrice, ou elle est utilisée directement pour faire fonctionner une machine à broyer. En Amérique du Nord, la plupart des gens entendent par hydroélectricité de grands barrages et les centrales à grande échelle. Les systèmes hydroélectriques à petite échelle suscitent toutefois un grand intérêt chez le public en tant que source d'électricité prometteuse et renouvelable pour les maisons, les parcs et les collectivités éloignées.

La technologie hydroélectrique existe depuis plus d'un siècle. À la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, nombre d'usines, de mines et de villes canadiennes produisaient alors de l'électricité à partir de petits systèmes hydroélectriques.

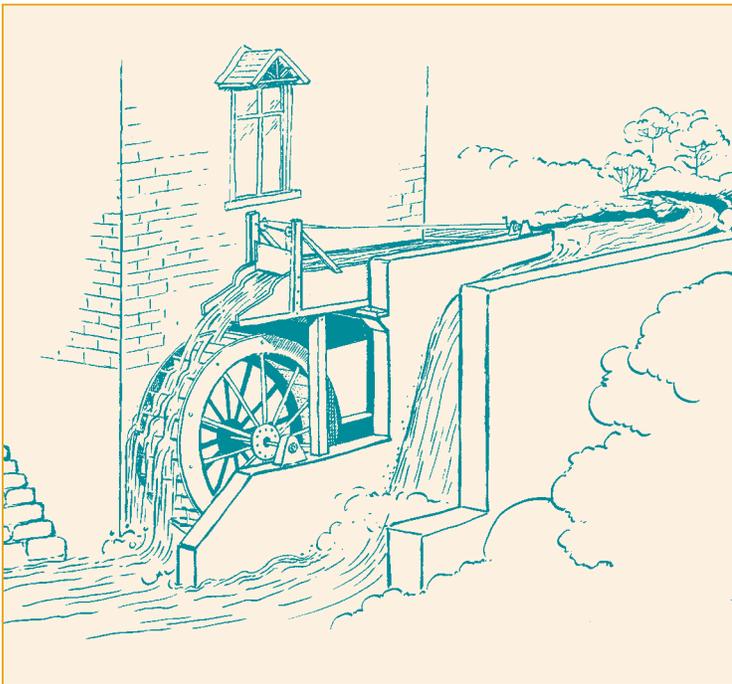


Figure 1. Roue hydraulique en marche

Les systèmes de microproduction hydroélectrique (« microhydro ») sont des sources d'énergie relativement petites qui conviennent dans la plupart des cas à des usagers individuels ou à des groupes d'usagers hors réseau. On classe les systèmes dans les catégories grand, moyen, petit, « mini » ou « micro » selon leur capacité de production. La puissance électrique se mesure en watts (W), en kilowatts (kW) ou en mégawatts (MW). Les installations dont la capacité de production est inférieure à 100 kW entrent dans la catégorie des microsystèmes. Celles dont la capacité se situe entre 100 kW et 1 MW sont appelées « minisystèmes ». On appelle généralement « petits systèmes » ceux d'une capacité de 1 000 kW (1 MW) et 10 MW; au Canada, toutefois, la limite supérieure peut aller jusqu'à 30 ou à 50 MW, selon le service public.

Les composants des microsystèmes hydroélectriques sont les suivants :

- une turbine hydraulique qui convertit l'énergie du mouvement de l'eau en énergie mécanique utile, laquelle actionne une génératrice, qui à son tour produit de l'électricité – c'est le cœur de la microhydroélectricité;
- un mécanisme de régulation qui assure la stabilité de l'électricité produite;
- des lignes de transport qui acheminent l'électricité jusqu'au point d'utilisation.

Selon le site, les éléments suivants pourraient devoir faire partie d'un microsystème (voir la figure 2) :

- une prise d'eau ou un barrage pour dériver un cours d'eau;
- un canal ou un tuyau (canalisation) pour transporter l'eau de la prise d'eau au bief d'amont;
- un bief d'amont et une grille devant la prise d'eau de la conduite forcée pour retenir les débris qui autrement parviendraient jusqu'à la turbine;
- une conduite forcée pour acheminer l'eau à la centrale;
- une centrale dans laquelle la turbine et la génératrice convertissent l'énergie du mouvement de l'eau en électricité;
- un canal de fuite par lequel l'eau est retournée au cours d'eau.

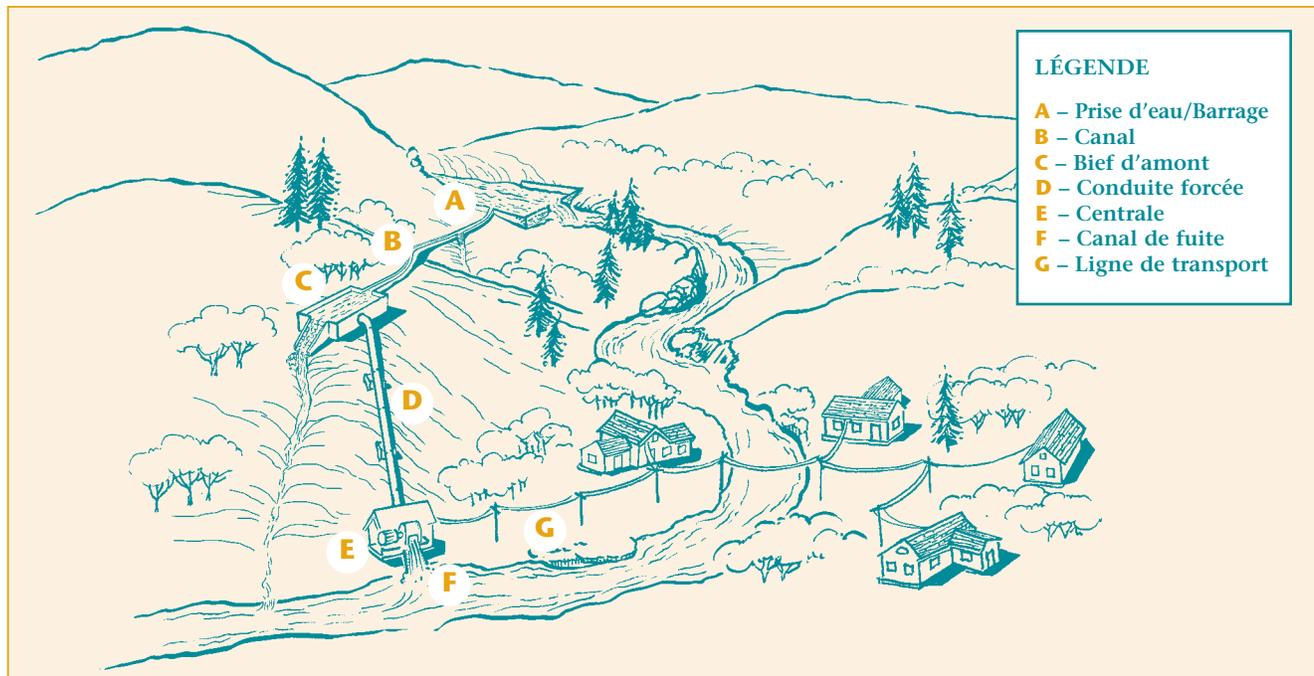


Figure 2. Composants principaux d'un microsysteme hydroelectrique

De nombreux microsystemes hydroelectriques sont des exploitations « au fil de l'eau », ce qui signifie qu'aucun grand barrage ou reservoir d'eau n'est construit et qu'aucune terre n'est inondée. Seule une fraction du debit disponible de la riviere ou du ruisseau est utilisée pour produire de l'électricité, ce qui a peu d'impact sur l'environnement. La quantité d'énergie produite dépend de la quantité d'eau qui s'écoule par seconde (debit) et de la hauteur de la chute de l'eau dans le systeme hydroelectrique (hauteur de chute).

1.1 Pourquoi la microhydroelectricité?

Pour diverses raisons, de nombreuses personnes sentent le besoin de mettre en place leur propre source d'électricité. Le Canada possède des milliers de rivieres, de ruisseaux et de sources pouvant être utilisés pour satisfaire les besoins en électricité des habitations rurales, des chalets, des petites collectivités, des campements, des parcs et des auberges qui sont situés hors réseau.

D'autres formes d'énergie renouvelable, telles que les énergies solaire et éolienne, peuvent répondre à certains besoins en électricité. Plusieurs facteurs déterminent le choix de sources d'énergie, y compris la disponibilité, la rentabilité et la demande énergétique. Les microsystemes hydroelectriques constituent une source d'électricité stable, renouvelable, économique et non soumise aux hausses des coûts (l'inflation), qui utilise des technologies disponibles ayant fait leurs preuves. Ces technologies peuvent produire aussi peu que 100 W d'électricité à des prix

très concurrentiels, et des systemes bien conçus et installés peuvent fournir de l'énergie à bon marché pendant de nombreuses années.

Sans l'hydroelectricité et les autres sources d'énergie renouvelable, il n'y aurait que les combustibles fossiles pour satisfaire nos besoins énergétiques. Les génératrices au diesel ou à l'essence sont actuellement moins dispendieuses à l'achat, mais l'augmentation du coût des carburants et de l'entretien rend leur utilisation coûteuse. De plus, elles ont un impact à long terme sur l'environnement. Les petites installations hydroelectriques et la microhydro ont, jusqu'à maintenant, été peu coûteuses à exploiter, quoique chères à construire. Cela est en train de changer grâce à des systemes de turbine à haute vitesse plus petits, plus légers et plus efficaces, et grâce à la réduction du coût des systemes électroniques de régulation de la vitesse ainsi qu'à l'arrivée sur le marché de conduites forcées en plastique peu coûteuses. Encore aujourd'hui, pour une même capacité de production, les microsystemes hydroelectriques nécessitent plus de capitaux que le matériel alimenté au diesel, mais leur longue durée de vie, leur faible coût d'exploitation et les incitatifs récents pour l'utilisation d'énergies renouvelables concourent à les rendre intéressants pour de nombreuses applications.

Plusieurs raisons peuvent inciter à construire un microsysteme hydroelectrique. Vous pouvez simplement souhaiter produire de l'électricité pour satisfaire des besoins de base liés aux usages suivants : l'éclairage; le fonctionnement de dispositifs

électroniques, d'ordinateurs, de petits appareils ménagers, d'outils, de laveuses, de sècheuses, de réfrigérateurs, de congélateurs; le chauffage de l'eau ou de locaux; et la cuisson. À long terme, il peut être plus économique d'investir dans votre propre système que d'acheter l'électricité du service public local, en particulier si les frais de raccordement sont importants. Il se peut aussi que vous vouliez aider à protéger l'environnement en évitant d'utiliser des combustibles fossiles, ou encore, que vous souhaitiez ne pas dépendre d'un réseau.

Ce guide a été préparé tout particulièrement pour les personnes intéressées par une source d'électricité indépendante du réseau. L'implantation de la technologie microhydro dans les régions isolées, où l'on produit de l'électricité avec des génératrices au diesel, permet de remplacer un combustible traditionnel par une source d'énergie renouvelable. Si vous pouvez exploiter un cours d'eau sur votre terrain, ou à proximité, et que vous vous demandez s'il serait possible d'utiliser un tel système pour alimenter votre maison ou vendre de l'électricité à vos voisins, ce guide s'adresse à vous. Il a été démontré que, pour un même investissement, l'énergie hydraulique peut produire beaucoup plus d'électricité que plusieurs autres sources d'énergie. Les microsystèmes hydroélectriques sont une source d'énergie qui n'épuise pas les ressources, qui est non polluante et qui a fait ses preuves quant à sa fiabilité; c'est une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses.

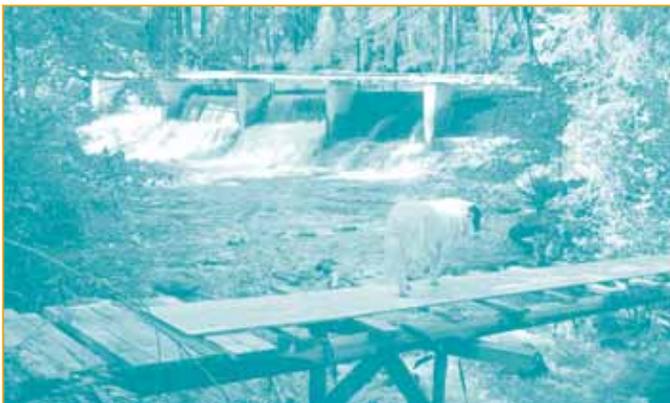


Figure 3. Barrage typique de microsystème, à Cherry Creek (Colombie-Britannique)

1.2 Comment évaluer un site potentiel?

Les meilleurs emplacements géographiques pour les microsystèmes hydroélectriques sont ceux où l'on trouve une rivière, un ruisseau ou une source de forte dénivellation qui coule toute l'année, comme dans les régions vallonnées qui connaissent de fortes précipitations de pluie toute l'année. Au Canada, les provinces et les territoires possèdent

presque tous un certain potentiel microhydro-électrique, mais celui-ci se retrouve surtout en Colombie-Britannique, à Terre-Neuve-et-Labrador, en Ontario et au Québec.

Afin d'évaluer si un site convient à la construction d'un microsystème, on doit réaliser une étude de pré faisabilité au cours de laquelle il faut déterminer le débit et la hauteur de chute du cours d'eau. Les méthodes pour mesurer ces paramètres sont présentées à la section 2 et à l'annexe A. Le meilleur endroit pour commencer votre étude est le cours d'eau le plus près; vous pouvez aussi consulter les cartes topographiques et les données hydrologiques de la région. Si vous êtes dans la région depuis peu, les résidents de l'endroit seront votre meilleure source d'information : ils vous renseigneront sur la nature du cours d'eau, les variations du débit pendant l'année et toutes variations anormales du débit survenues dans le passé. Cela vous donnera une vue d'ensemble des fluctuations annuelles du débit d'une saison à l'autre. Lorsque c'est possible, vous devriez recueillir des données pour une période d'au moins un an, mais idéalement de deux à cinq ans. Il se peut aussi que votre service public d'électricité possède un inventaire des sites microhydroélectriques potentiels dans la région. C'est en visitant des sites prometteurs que vous pourrez recueillir de l'information suffisamment détaillée pour calculer la capacité énergétique, puis commencer les travaux de conception.

1.3 Une option intéressante pour vous?

Il se peut que vous vous soyez demandé si le cours d'eau qui traverse votre terrain (ou qui le longe) pourrait être utilisé pour alimenter votre maison en électricité. Un microsystème hydroélectrique est-il une option souhaitable dans votre cas? Voici les nombreux facteurs qui déterminent la viabilité d'un tel système :

- les restrictions légales imposées par la municipalité, la province ou le territoire et le gouvernement fédéral concernant l'aménagement d'une centrale hydroélectrique et l'utilisation de l'eau;
- la quantité d'électricité pouvant être produite à partir du cours d'eau, par rapport aux besoins en électricité;
- la disponibilité des turbines et des génératrices de type et de capacité appropriés;
- les coûts d'aménagement du site et d'exploitation du système.

Avant d'opter pour la construction d'un microsystème hydroélectrique ou de tout autre système de production d'électricité, il est judicieux de considérer attentivement toutes les autres options possibles.

Celles-ci dépendent de votre situation et de vos attentes. En général, les personnes intéressées par les microsystèmes entrent dans l'une des deux catégories suivantes :

- Elles possèdent un site qui a un bon potentiel hydroélectrique et souhaitent l'aménager pour satisfaire leurs propres besoins dans un endroit qui n'est pas desservi par un réseau.
- Elles souhaitent produire leur propre électricité plutôt que l'acheter d'un service public, ou elles veulent vendre l'électricité au service public local.

S'il n'existe pas de service local d'électricité, il faut comparer le coût de prolonger le réseau existant jusqu'au point de consommation et le coût de produire l'électricité vous-même. Dans le cas où il s'agit d'une ou de deux maisons situées assez loin du réseau, il peut être avantageux d'installer votre propre système. Le coût de connexion au réseau dépend de la distance; un service public peut demander entre 5 000 et 10 000 \$ ou même plus par kilomètre de ligne de transport. Avant de prendre une décision, il est bon d'obtenir un prix auprès du service public. Le coût élevé du raccordement est l'une des raisons pour lesquelles la plupart des systèmes autonomes de production d'électricité se trouvent dans des régions rurales. Vous aurez aussi à acquitter des coûts permanents si vous êtes branché à un réseau.

Si vous souhaitez être indépendant du réseau local, vérifiez quel serait le coût en électricité et le coût approximatif d'aménager un microsystème hydroélectrique. Comparez le taux de rendement de cet investissement à celui d'autres genres de systèmes de production d'électricité, ou étudiez la possibilité d'investir ailleurs.

S'il n'y a aucun réseau d'électricité dans votre région, la principale solution de rechange aux microsystèmes hydroélectriques est habituellement une autre source d'énergie. Le choix de technologie repose sur



Figure 4. Un des nombreux ruisseaux possédant un potentiel microhydroélectrique

de nombreux facteurs, y compris le coût à long terme de la production d'électricité par chacune de ces technologies, les coûts et avantages sociaux de celles-ci ainsi que leurs effets environnementaux respectifs.

Adéquatement planifié et conçu, un microsystème hydroélectrique possède de nombreux avantages sur la plupart des méthodes classiques de production d'électricité. Voici quelques-uns des plus importants :

- La microhydro ne coûte pratiquement rien à exploiter, même si les systèmes coûtent plus cher à construire que les systèmes à combustibles fossiles (notamment à gaz naturel).
- Le prix de l'hydroélectricité provenant d'un système autonome est à l'abri de l'inflation parce que le coût d'utilisation de l'eau d'un cours d'eau n'augmentera ou ne variera probablement pas; par contre, le coût du combustible utilisé par d'autres systèmes peut augmenter avec les années.
- Les systèmes hydroélectriques durent de 20 à 30 ans – plus longtemps que la plupart des autres genres de systèmes de production.
- Les petites installations comme les microsystèmes hydroélectriques peuvent être construites relativement rapidement.
- Comme les microsystèmes hydroélectriques utilisent une source d'énergie renouvelable, ils ne dépendent pas du pétrole, du charbon ou d'un autre combustible fossile pour fonctionner. Ils favorisent l'autosuffisance parce que leur aménagement se fait à une échelle très petite, et ils ne comportent pas la plupart des effets environnementaux et sociaux nuisibles des grands projets d'exploitation énergétique.
- Ils ne nécessitent aucune ligne de transport à distance, parce que l'électricité est consommée près de la source de production.
- Dans des conditions favorables, la microhydroélectricité est l'une des formes d'énergie renouvelable les plus rentables.

Voici d'autres facteurs importants à examiner lorsque vous évaluez l'opportunité d'aménager d'un microsystème hydroélectrique à un site particulier :

- le potentiel hydroélectrique du site;
- vos besoins en électricité (puissance et quantité totale);
- l'impact environnemental et les approbations nécessaires à cet égard;
- les options relatives à l'équipement;
- les coûts et la rentabilité.

Gardez à l'esprit que les coûts, les approbations nécessaires, les plans et les autres éléments varient d'un microsystème à l'autre, et d'un site à l'autre.

2.0 Planification d'un projet

Si vous songez sérieusement à installer un micro-système hydroélectrique, vous voudrez planifier un projet qui va satisfaire vos besoins en électricité. Il vous faudra tenir compte des différentes étapes de planification. Une fois ces premières étapes franchies, vous pourrez procéder à la conception préliminaire du système. De nombreux facteurs contribuent à l'aménagement réussi d'un micro-système.

2.1 Évaluation du potentiel électrique

La première étape consiste à déterminer le potentiel hydroélectrique du cours d'eau. Vous devrez connaître le **débit** et la **hauteur de chute**, paramètres que l'on définit comme suit :

- Le **débit** est la quantité d'eau qui franchit un point dans une période donnée. Il est généralement exprimé en mètres cubes par seconde (m³/s), en litres par seconde (L/s), en gallons par minute (gal/min) ou en pieds cubes par minute (pi³/min).
- La **hauteur de chute** est la distance verticale en mètres (m) ou en pieds (pi) qui sépare le niveau auquel l'eau pénètre dans la prise d'eau (conduite forcée) du niveau auquel l'eau quitte la chambre de la turbine (voir la figure 5).

Pour connaître les moyens de mesurer la hauteur de chute et le débit, voir l'annexe A.

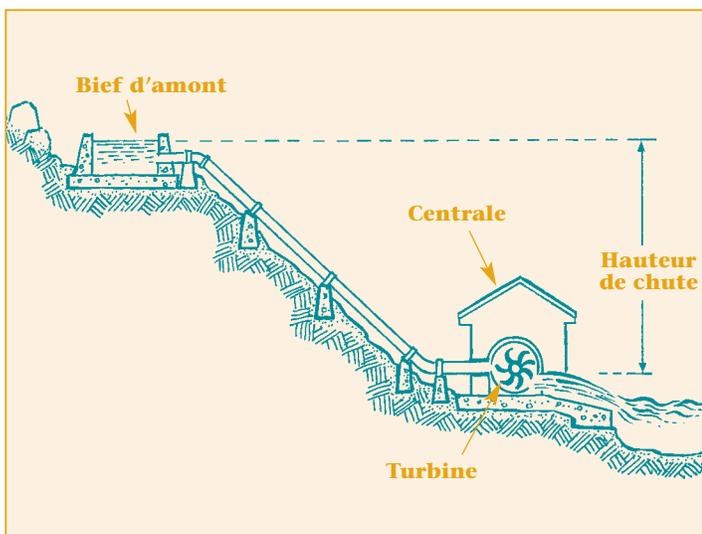


Figure 5. Hauteur de chute

Calcul du potentiel électrique

La capacité d'un micro-système hydroélectrique est directement proportionnelle au produit du débit, de la hauteur de chute et de la force gravitationnelle. Une fois que vous avez déterminé le débit utilisable (la quantité d'eau pouvant être dérivée pour produire l'électricité) et la hauteur de chute, vous pouvez calculer la puissance électrique que vous pourrez théoriquement produire, en utilisant l'équation suivante :

$$P_{th} = Q \times H \times g$$

P_{th} = Production théorique d'électricité (en kW)

Q = Débit utilisable (en m³/s)

H = Hauteur de chute brute (en m)

g = Constante gravitationnelle (9,8 m/s²)

Exemple 1

Un site possède une hauteur de chute de 10 m (33 pi) et un débit de 0,3 m³/s (636 pi³/min ou 4 755 gal/min); sa production théorique d'électricité est alors égale à $Q \times H \times g = (0,3 \times 10 \times 9,8) = 29,4$ kW.

Cette valeur n'est que théorique parce qu'on suppose que toute l'énergie hydraulique disponible peut être convertie en électricité. Il faut également tenir compte de l'efficacité du système. La conversion d'une forme d'énergie en une autre entraîne invariablement une perte d'énergie, et l'efficacité de tout le matériel utilisé pour transformer l'énergie hydraulique disponible en électricité est inférieure à 100 p. 100. Afin de calculer la valeur la plus réaliste pour la quantité d'électricité qui sera produite à votre site, vous devez tenir compte des pertes par frottement dans les conduites forcées et de l'efficacité de la turbine et de la génératrice.

Lorsque vous déterminez la hauteur de chute, vous avez besoin de connaître la **hauteur brute** et la **hauteur nette**. La hauteur brute est la distance verticale entre le point le plus élevé de la conduite forcée qui achemine l'eau sous pression et le point où l'eau sort de la turbine. La hauteur nette est la valeur résultante après avoir soustrait de la hauteur brute la valeur des pertes de charge dues au frottement dans la conduite forcée (hauteur nette = hauteur brute – pertes dans la conduite forcée).

L'efficacité des petites turbines est rarement supérieure à 80 p. 100. De l'énergie potentielle est également perdue par frottement dans la conduite forcée qui transporte l'eau à la turbine. Par une conception minutieuse, on peut limiter ces pertes, normalement à une valeur se situant entre 5 et

10 p. 100. En général, l'efficacité globale des systèmes de production d'électricité varie de 50 à 70 p. 100, et elle tend à être plus élevée dans les systèmes à grande hauteur de chute. À l'inverse, l'efficacité des systèmes plus petits est généralement plus faible. En règle générale, on peut prévoir un facteur d'**efficacité globale** d'environ 50 p. 100 pour les petits systèmes (p. ex., jusqu'à 10 kW); pour de plus grands systèmes (plus de 10 kW), l'efficacité est généralement comprise entre 60 et 70 p. 100. Par conséquent, si l'on veut déterminer une valeur réaliste pour la production d'électricité, il faut multiplier la valeur de la production théorique par un facteur d'efficacité se situant entre 0,5 et 0,7.

$$P = Q \times H \times g \times e$$

e = facteur d'efficacité (0,5 à 0,7)

$$\text{Production d'électricité (W)} = Q \text{ (L/s)} \times H \text{ (m)} \times g \times e$$

Tableau 1. Production type (en watts) pour différentes valeurs de hauteur de chute et de débit

Hauteur de chute		Débit										
		(L/s)	5	10	15	20	40	60	80	100	150	200
(m)	(pi)	(gal/min)	79	159	238	317	634	951	1 268	1 585	2 378	3 170
1	3		25	49	74	98	196	294	392	490	735	980
2	7		49	98	147	196	392	588	784	980	1 470	1 960
4	13		98	196	294	392	784	1 176	1 568	1 960	2 940	3 920
8	26		196	392	588	784	1 568	2 352	3 136	3 920	5 880	7 840
10	33		245	490	735	980	1 960	2 940	3 920	4 900	7 350	9 800
15	49		368	735	1 103	1 470	2 940	4 410	5 880	7 350	13 230	17 640
20	66		490	980	1 470	1 960	3 920	5 880	7 840	9 800	17 640	23 520
30	98		735	1 470	2 205	2 940	5 880	8 820	14 112	17 640	26 460	35 280
40	131		980	1 960	2 940	3 920	7 840	14 112	18 816	23 520	35 280	47 040
60	197		1 470	2 940	4 410	5 880	14 112	21 168	28 224	35 280	52 920	70 560
80	262		1 960	3 920	5 880	7 840	18 816	28 224	37 632	47 040	70 560	94 080
90	295		2 205	4 410	6 615	8 820	21 168	31 752	42 336	52 920	79 380	105 840
100	328		2 450	4 900	7 350	9 800	23 520	35 280	47 040	58 800	88 200	117 600

Exemple 2

La génératrice d'une turbine réglée en fonction d'une hauteur de chute de 10 m (33 pi) et d'un débit de 0,3 m³/s (636 pi³/min) produira environ 15 kW d'électricité. On obtient ce résultat par l'équation $P = Q (0,3) \times H (10) \times g (9,8) \times e (0,5) = 14.7 \text{ kW}$, en supposant une efficacité globale de 50 p. 100.

Ces calculs vous donnent une idée de la quantité d'électricité que vous pouvez produire avec la ressource en eau dont vous disposez. Le tableau 1 donne la puissance à prévoir, en watts, pour différentes valeurs de la hauteur de chute et du débit.

Courbe des débits classés et calculs énergétiques

À titre de propriétaire ou de promoteur d'un site potentiel, vous vous demandez peut-être quelle est la capacité de production du site. Vous devriez vous demander plus précisément quelle **quantité** d'énergie électrique le site peut produire – en kilowatt-heures (kWh), soit l'unité de base pour l'achat et la vente d'électricité. La quantité tient compte tant de la puissance électrique utilisée ou produite (en kW) que la période d'utilisation de cette puissance. Par exemple, si vous tirez 1 kW (1 000 W) d'électricité pendant une heure (1 h), vous consommez 1 kWh d'énergie. Il se peut qu'un site sur un cours d'eau à forte variation de débit (dont le débit fluctue souvent, et qui présente un grand écart entre le débit maximum et minimum) ne produise pas autant d'énergie qu'un autre site sur une rivière dont le débit est plus constant et qui subit des variations moins importantes. Un hydrologue ou un consultant professionnel peut tracer une courbe des débits classés (CDC) pour un cours d'eau en classant les débits mesurés par ordre décroissant (tel qu'il est démontré dans les figures 6a et 6b). C'est une manière d'illustrer, sous forme graphique, le nombre probable de jours par année pendant lesquels une valeur donnée du débit sera dépassée. (L'aire sous la courbe est une mesure de la capacité énergétique potentielle du cours d'eau.)

La CDC est utilisée pour évaluer le débit disponible en fonction du temps ainsi que de l'électricité (puissance et quantité) qu'on peut produire à un site. On l'utilise aussi pour déterminer le « débit de conception » en vue du choix de turbine. Elle permet également de se fixer sur la taille du système de production. Dans le cas d'un système qui sera

indépendant de toute autre source d'énergie (y compris l'électricité du réseau), le débit de conception doit être le débit disponible au moins 95 p. 100 du temps. Par conséquent, les systèmes autonomes tels les microsystèmes hydroélectriques doivent être conçus en fonction du débit disponible toute l'année. Il s'agit habituellement du débit observé au cours de la saison sèche; certains cours d'eau peuvent être complètement asséchés au cours de cette période.

Puisque le débit de tout ruisseau ou de toute rivière est différent en hiver et en été, la production d'un microsystème hydroélectrique qui en dépend variera elle aussi. Ce débit change continuellement (parfois, quotidiennement) s'il y a des précipitations; toutefois, on peut faire certaines généralisations. Dans le sud de l'Ontario, les cours d'eau atteignent leurs niveaux les plus élevés au début du printemps et leurs niveaux les plus faibles à la fin de l'été. Dans le nord de l'Ontario et du Québec, les petites rivières et les ruisseaux connaissent leurs niveaux les plus faibles au milieu de l'hiver et leurs niveaux les plus élevés au printemps. En Colombie-Britannique ainsi qu'à Terre-Neuve-et-Labrador, les débits sont généralement faibles à la fin de l'hiver et forts au printemps, sauf sur la côte sud de la Colombie-Britannique où ils sont faibles en été et forts en hiver. On doit tenir compte de ces variations lorsqu'on évalue la production d'énergie totale prévue d'un site.

On utilise idéalement le débit minimum annuel pour calculer le débit de conception afin de s'assurer d'une alimentation en électricité pendant toute l'année. Généralement, seule une fraction du débit disponible est utilisée pour la production d'électricité. Par conséquent, plus la taille du système est petite, moins la courbe des débits classés est

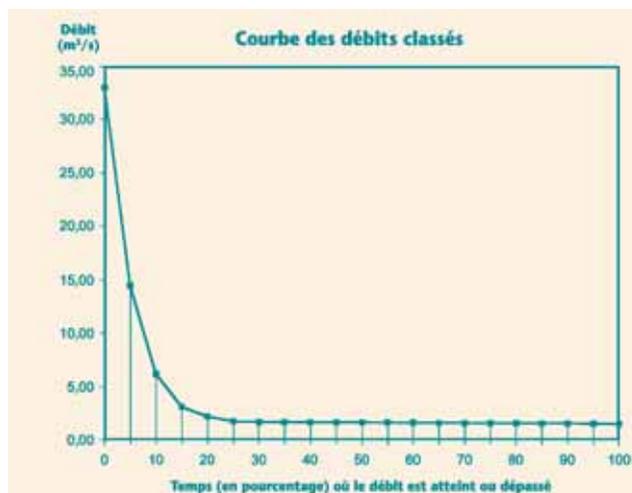


Figure 6a. Courbe des débits classés d'une rivière dont le débit est élevé pendant une courte période

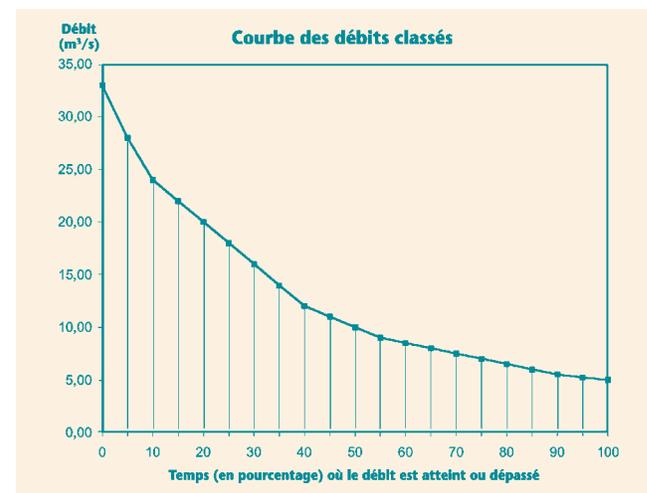


Figure 6b. Courbe des débits classés d'une rivière dont le débit est plus stable

importante. Si la capacité du système est de l'ordre de 10 kW ou moins, il se peut que la CDC soit tout à fait inutile.

2.2 Taille minimale

Il est important de noter qu'au-dessous d'une certaine hauteur de chute et d'un certain débit, il n'y a actuellement aucun avantage économique à tenter de produire de l'électricité. Il est difficile de préciser la hauteur de chute et le débit minimums parce qu'une valeur élevée d'un de ces paramètres combinée à une valeur basse de l'autre peut permettre de produire une quantité utile d'électricité. Pour des raisons pratiques, toutefois, on retiendra qu'il n'est probablement pas rentable d'exploiter un site dont la hauteur de chute est inférieure à 1 m (3 pi). De la même façon, on pourra considérer une valeur de 0,60 L/s (10 gal/min) comme débit minimum.

Dans les exemples qui suivent, des valeurs différentes du débit et de la hauteur de chute produisent des quantités d'énergie semblables :

- Un débit de 0,6 L/s (10 gal/min) et une hauteur de chute de 35 m (100 pi) permettent de produire 100 W d'électricité utile.
- Un débit de 20 L/s (317 gal/min) et une hauteur de chute de 1 m (3 pi) permettent aussi de produire environ 100 W d'électricité utile.

Ces deux sites permettent de produire suffisamment d'énergie pour alimenter une ampoule de 100 W, ce qui correspond à environ 72 kWh par mois.

Rappelons que si un site présente une hauteur de chute plus élevée, le débit nécessaire sera moindre, et que plus la hauteur de chute et le débit sont élevés, plus on peut produire d'électricité. Il est utile de discuter de votre cas avec des personnes qui possèdent un microsystème hydroélectrique et, si possible, de visiter leur site. Vous pouvez également obtenir d'autres renseignements auprès de fabricants et de fournisseurs (voir « Sites Web utiles » à la page 51).

2.3 Évaluation des besoins en électricité

Votre étude de faisabilité d'un microsystème hydroélectrique devrait comporter l'examen minutieux de vos besoins en électricité. La puissance dont vous avez besoin est celle requise pour faire fonctionner les appareils que vous utilisez à un moment donné; elle se mesure en kilowatts (kW). Plus vous utilisez d'appareils en même temps, plus il faut de puissance. La quantité d'électricité consommée dépend non seulement de la puissance requise pour faire fonctionner les appareils, mais aussi de la durée et de la fréquence de leur utilisation. On mesure la

quantité d'énergie électrique en kilowattheures (kWh). Vous devez connaître les besoins liés à l'éclairage, au chauffage, à la cuisson et aux autres utilisations de l'électricité dans votre maison ou votre auberge. Est-ce que le potentiel hydroélectrique du microsystème envisagé pourrait produire la puissance et la quantité d'énergie nécessaires? Quelle serait la taille du système qui pourrait répondre à cette demande? Il est difficile d'évaluer avec justesse les besoins énergétiques.

L'une des façons de déterminer vos besoins en énergie électrique consiste à regarder sur vos factures d'électricité récentes le nombre de kilowattheures que vous consommez par mois. Si vous utilisez plutôt une génératrice alimentée par un carburant pour répondre à vos besoins, notez son temps d'utilisation et la consommation de carburant mensuels. N'oubliez pas que la consommation d'électricité varie selon la saison. Il vous faudra donc calculer votre consommation totale (en kWh) pour toute l'année. Pour évaluer vos besoins énergétiques, vous devez :

- Dresser une liste de tous les appareils ménagers et appareils d'éclairage électriques et noter quand et pendant combien de temps ils sont utilisés.
- Noter la puissance que chaque appareil requiert. La puissance nominale est généralement précisée en watts ou en kilowatts au dos de l'appareil. L'étiquette ÉnerGuide qu'on trouve sur les électroménagers neufs, comme les réfrigérateurs, les laveuses et les lave-vaisselle, donne également une cote de consommation d'énergie (en kWh par mois ou par année).
- Noter le nombre d'heures d'utilisation de chaque appareil dans une journée typique.
- Pour chaque appareil, multiplier la puissance nominale en watts (ou en kilowatts) par le nombre d'heures d'utilisation quotidienne afin d'obtenir le nombre de wattheures (ou de kWh) que l'appareil consomme par jour.
- Tenir compte que les profils de consommation d'énergie varient selon la saison (p. ex., l'éclairage est généralement plus utilisé en hiver).
- Additionner le nombre de wattheures consommés par tous vos appareils. Le total que vous obtenez constitue une estimation de votre consommation d'électricité quotidienne. Vous pouvez ensuite calculer vos besoins mensuels.

L'étiquette canadienne ÉnerGuide vous permet de comparer la consommation d'énergie de divers appareils, et le symbole ENERGY STAR® – affiché à part ou sur l'étiquette ÉnerGuide (voir la figure 7)

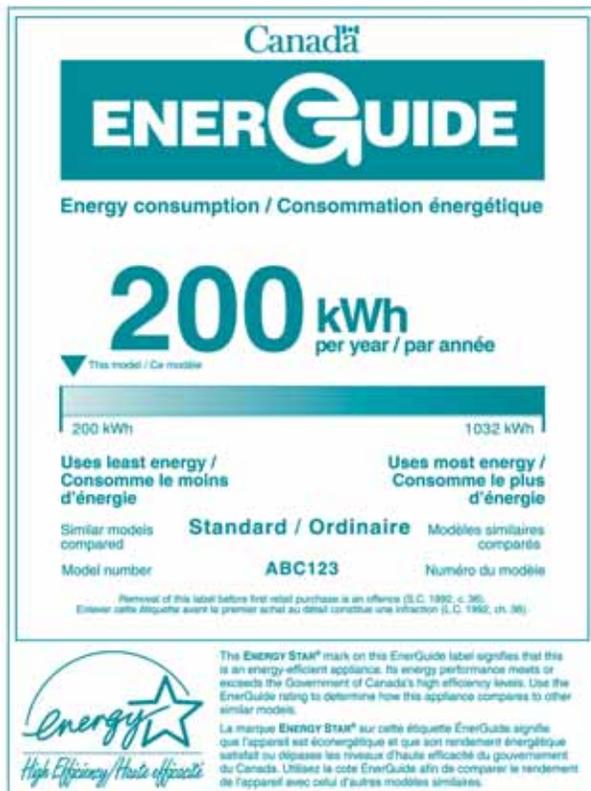


Figure 7. Étiquette ÉnerGuide comportant le symbole ENERGY STAR®

– vous aide à identifier les appareils les plus éconergétiques de leur catégorie.

Une autre manière de déterminer vos besoins en électricité consiste à additionner la consommation type d'appareils électroménagers pour calculer la charge totale d'une maison typique (voir le tableau 2 et l'annexe C).

Il est important de calculer votre consommation d'énergie totale et la puissance maximum appelée parce qu'il pourrait arriver que le système doive répondre à un besoin, mais pas à un autre. Comparez vos besoins énergétiques à la production d'électricité que vous pouvez obtenir de votre ressource hydraulique (calculée à partir de la hauteur de chute et du débit). Si vos besoins mensuels sont plus grands que la quantité d'énergie que produirait le microsystème hydroélectrique durant cette même période, déterminez où vous pourriez réduire votre consommation de sorte que votre demande corresponde tout au plus à l'énergie disponible.

La puissance maximum appelée est la puissance qui pourrait être requise à un instant donné, généralement le moment où la majorité des gros appareils fonctionnent en même temps. Pour la calculer, additionnez la puissance nominale de tous les appareils pouvant être utilisés simultanément. Dans de nombreux microsystèmes hydroélectriques, la puissance maximum appelée servira probablement davantage à établir la capacité nominale de la turbine que ne le feront les besoins énergétiques. Dans l'étude et l'optimisation d'un microsystème, il faut se rappeler que l'économie d'énergie est le facteur qui a le plus d'impact – demandez-vous si vous pouvez modifier vos habitudes en ce qui concerne la manière et le moment de consommer l'électricité. En diminuant la puissance maximum appelée, vous pouvez diminuer la capacité nominale de votre système et en réduire sensiblement le coût initial. Il est possible qu'une utilisation plus efficace de l'énergie vous oblige à modifier certaines de vos habitudes de consommation, mais n'oubliez pas qu'il est toujours moins cher d'économiser l'énergie que d'en produire davantage.

Tableau 2. Exemple d'un profil de charge

Appareil	Puissance nominale (W)	Heures par jour	Heures par mois	Consommation mensuelle (kWh)	Consommation annuelle (kWh)
Quatre lampes fluorescentes	200	8	240	48	576
Téléviseur couleur	100	4	120	12	144
Réfrigérateur	300	10	300	90	1 080
Pompe à eau	1 000	1,5	45	45	540
Ordinateur	200	12	360	72	864
Consommation d'énergie totale				267	3 204

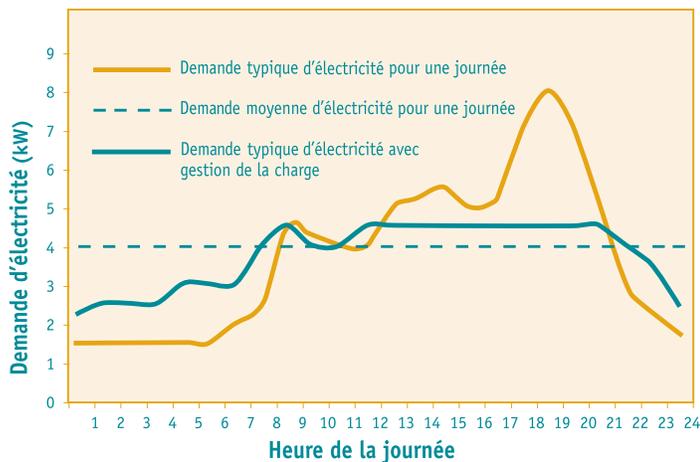


Figure 8. Variation de la charge et effet de la gestion de la charge (adapté de Micro-Hydro Power Energy from Ontario Streams)

2.4 Gestion de la demande énergétique

Quelle quantité d'électricité sera suffisante? Pour une maison moyenne alimentée par le réseau, la consommation d'énergie est d'environ 800 kWh par mois (ou 10 000 kWh par année). Ce calcul ne tient pas compte de l'électricité utilisée pour le chauffage des locaux et la climatisation ni pour la cuisson; si on en tenait compte, la consommation serait beaucoup plus élevée. La consommation varie selon le moment de la journée. Si vous examinez les habitudes de consommation d'une maison typique alimentée par le réseau local, vous constaterez que la demande de pointe se manifeste surtout entre 16 h et 20 h, tandis que la demande est à son plus bas entre minuit et 6 h. Il y a une grande variation de la demande pendant ces périodes.

La consommation moyenne d'électricité (demande) est le nombre de kilowattheures utilisés pendant une période donnée; on peut calculer la demande moyenne quotidienne en divisant la consommation totale par le nombre d'heures qu'il y a dans une journée (soit 24). Les microsyntèmes hydroélectriques peuvent généralement satisfaire la demande d'électricité si le débit du cours d'eau est suffisant pendant la saison sèche. Il y aura d'ailleurs des périodes d'indisponibilité pour l'entretien du système. En adoptant des pratiques élémentaires d'économie comme l'utilisation d'appareils éco-énergétiques, vous consommerez beaucoup moins d'énergie – vous pourriez facilement réduire votre consommation de moitié, soit jusqu'à 400 kWh par mois (5 000 kWh par année). Des études portant

sur les habitudes de consommation dans les maisons hors réseau ont montré une baisse relative d'environ 44 p. 100 par rapport aux maisons connectées au réseau, et ce, grâce à des mesures d'économie d'énergie.

De nombreux appareils électroménagers consomment un peu d'électricité lorsqu'ils sont en mode veille (par ex., les téléviseurs, les téléphones sans fil et les écrans d'ordinateur). Leur charge globale peut facilement représenter jusqu'à 100 W de puissance continue. Mieux vaut débrancher ces appareils aussi souvent que possible lorsqu'on ne les utilise pas, afin d'aider à réduire la demande d'électricité totale. L'utilisation d'appareils éco-énergétiques et l'élimination de la consommation en mode veille ont une plus grande importance dans le cas des microsyntèmes hydroélectriques à accumulateurs.

Gestion de la charge

On peut réduire la demande de pointe en adoptant des mesures d'efficacité et de gestion de la charge et en choisissant des sources d'énergie autres que l'électricité pour des activités énergivores comme le chauffage et la cuisson. Des études sur l'utilisation de l'énergie dans les maisons ont montré qu'en moyenne, environ 50 p. 100 de la consommation sert au chauffage des locaux, 30 p. 100 au chauffage de l'eau, 15 p. 100 à l'éclairage et 5 p. 100 au fonctionnement d'appareils ménagers. Vous pouvez tirer des avantages considérables d'un usage mieux calculé de divers appareils; par exemple, n'utilisez pas votre laveuse en même temps que le fer à repasser puisque ce sont deux appareils énergivores.

Divers dispositifs disponibles sur le marché peuvent aider à gérer la charge dans des bâtiments alimentés par un microsyntème hydroélectrique; ils permettent d'utiliser l'énergie plus judicieusement et de réduire la demande de pointe. Certains de ces dispositifs sont dotés d'un régulateur de charge. Au Canada, de tels équipements font leurs preuves depuis de nombreuses années dans des microsyntèmes hors réseau de capacité plus grande.

Le régulateur permet de gérer la charge en période de pointe en maximisant l'utilisation de l'énergie disponible. Généralement, ces dispositifs de gestion permettent de relier à un microsyntème des appareils dont la consommation est égale à au moins deux fois la capacité du système. Pour des renseignements sur les régulateurs de charge électroniques, voir la section 3.4.

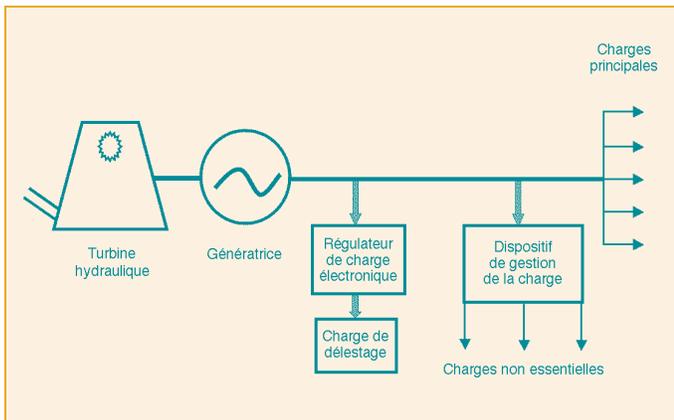


Figure 9. Disposition générale d'un dispositif de gestion de la charge dans un microsysteme hydroélectrique

Par exemple, les charges non essentielles – comme celles associées aux réservoirs d'eau chaude, aux plinthes chauffantes et à toute autre charge pouvant être coupée automatiquement sans causer d'inconvénient aux consommateurs – peuvent être régulées par un dispositif de gestion de la charge. Ce dernier met hors tension ces appareils ou certains d'entre eux lorsque le microsysteme devient surchargé et les remet sous tension automatiquement lorsque le système dispose d'une puissance excédentaire. Grâce à la gestion de la charge, la capacité apparente d'un système peut passer de 10 à 20 kW.

Il existe également des appareils tels les régulateurs intelligents de charge répartis (RICR), qui sont directement installés dans des appareils comme les réfrigérateurs, les chargeurs d'accumulateurs, les chauffe-eau ou les chaufferettes, qui répartissent la charge demandée. Ces appareils détectent la fréquence et la tension du système et distribuent la charge en conséquence, sans risque de surcharge. L'équipement de gestion de la charge doit être intégré au microsysteme hydroélectrique à l'étape de la conception. Il est important de garder à l'esprit ces stratégies d'économie d'énergie lorsque vous déterminez la taille de votre microsysteme.

2.5 Étude de faisabilité

On effectue une étude de pré-faisabilité afin de déterminer si un site vaut la peine d'être évalué plus en détail. Cette étude peut comporter la visite du site pour mesurer la hauteur de chute et le débit, ou simplement l'examen de cartes. Si le site semble prometteur, l'étape suivante consiste à effectuer une étude de faisabilité détaillée et complète. Les renseignements recueillis lors de l'étude de faisabilité doivent être de la plus haute qualité

et d'une exactitude qui permettra la réalisation complète du projet sans qu'une autre visite soit nécessaire. Une étude de faisabilité comprend des levées de reconnaissance, une étude hydrologique et une évaluation environnementale, la conception du projet, une estimation détaillée des coûts et la préparation d'un rapport final. L'ampleur de l'étude dépend en grande partie de la taille et de la complexité du système. Dans le cas d'un système plus petit, comme un système à accumulateurs, l'étude de faisabilité peut être moins rigoureuse que celle d'un grand système.

La réalisation d'une étude de faisabilité est un travail très technique. À moins que vous ne possédiez de solides connaissances et une grande expérience du domaine, il est préférable de faire appel à des consultants professionnels ou à des spécialistes de l'énergie. Ce genre de service peut être coûteux, mais le projet pourrait coûter beaucoup plus cher encore sans cette aide professionnelle. Si un consultant vous permet d'éviter une seule erreur, il aura mérité bien des fois sa rétribution. Si vous avez l'intention de faire appel à un consultant ou à un fabricant, assurez-vous d'avoir au moins une estimation grossière de la hauteur de chute, de la longueur de la conduite jusqu'à la prise d'eau et du débit approximatif. Ce sont les premiers renseignements qu'on vous demandera.

L'étude de faisabilité devrait permettre de répondre au plus grand nombre des questions qui suivent :

- Quelle est la hauteur de chute disponible?
- Quelle doit être la longueur de la conduite de dérivation ou de la canalisation jusqu'à la prise d'eau?
- Quels sont les débits minimum et maximum? À quels moments atteint-on ce minimum et ce maximum?
- Quelle puissance peut-on produire à partir des débits disponibles?
- Qui est propriétaire du terrain?
- Où sont situées les lignes de transport d'électricité les plus près?
- Quels effets aurait l'installation d'un microsysteme hydroélectrique sur l'environnement?
- Quel est le processus d'approbation pour l'installation du microsysteme?
- Quels sont les incitatifs financiers disponibles pour les systèmes d'énergie renouvelable? Que faut-il faire pour y avoir accès?
- Combien coûtera l'aménagement du microsysteme?

En répondant au plus grand nombre possible de questions, vous pourrez cerner tout problème important avant d'avoir investi beaucoup de temps et d'argent dans le projet.

Au cours de l'étude de faisabilité, tous les renseignements techniques et non techniques pertinents doivent être recueillis. Ils comprennent : l'emplacement de la prise d'eau, du bief d'amont et de la centrale; la longueur du canal ou de la canalisation de dérivation, de la conduite forcée; et l'étendue du réseau de transport ou de distribution. Le rapport préparé à la suite de cette étude doit comporter des renseignements techniques détaillés. Les données de conception du système comprennent les renseignements relatifs aux ouvrages de génie civil, à la conduite forcée et au matériel de production d'électricité, ainsi qu'une estimation du coût total du système. Il est utile de garder à l'esprit que le coût par kilowatt est plus élevé pour les systèmes à faible hauteur de chute, les systèmes à faible débit et les systèmes nécessitant la construction de nombreux ouvrages de génie civil.

2.6 Dimensionnement

Les renseignements les plus importants à obtenir lors de la planification d'un microsystème hydroélectrique sont la quantité d'énergie que vous pourrez produire à partir du site et la possibilité ou l'impossibilité de produire suffisamment d'énergie pour satisfaire vos besoins énergétiques. Dans le cas d'un microsystème autonome, la production doit être suffisante pour satisfaire à la demande de pointe. Pour déterminer la taille nécessaire du système, deux paramètres énergétiques doivent être estimés : la demande de pointe et la consommation totale.

Une façon de déterminer la taille du système consiste à le dimensionner de manière à ce qu'il puisse répondre à la demande de pointe et, grâce à un régulateur électronique, à détourner vers les charges de délestage la production excédentaire d'électricité hors pointe. Une autre possibilité est de dimensionner la génératrice de manière à ce qu'elle satisfasse à la demande moyenne (ou une demande légèrement supérieure) et d'utiliser des accumulateurs et un onduleur pour satisfaire à la demande en période de pointe. Toutefois, si le potentiel hydroélectrique est trop faible pour répondre à la demande de pointe, vous devrez utiliser des accumulateurs. N'oubliez pas que la hauteur de chute et le débit disponibles sont les principaux facteurs techniques qui limitent la capacité de l'installation; ce sont les aspects économiques qui déterminent l'envergure de l'aménagement de tout site hydroélectrique.

Si le site présente un débit inférieur à 1 L/s ou une hauteur de chute inférieure à 1 m, il peut être préférable de prévoir une autre source d'électricité parce que le microsystème hydroélectrique ne pourra peut-être pas satisfaire tous vos besoins. Toutefois, s'il présente un débit et une hauteur de chute suffisants, vous avez la possibilité d'investir dans un système qui fournira toute l'énergie électrique dont vous avez besoin et qui sera capable de satisfaire à la demande de pointe. Si d'autres maisons ou de petites auberges sont situées près de votre site et qu'elles ont besoin d'électricité, vous voudrez peut-être dimensionner votre système en vue de vendre tout surplus d'électricité. Si vous êtes propriétaire d'une auberge, il peut être très intéressant d'utiliser un tel excédent d'électricité pour répondre au plus grand nombre possible de vos besoins énergétiques et de réduire votre dépendance à l'égard des génératrices à combustible fossile.

Pour une maison typique située dans un village ou une ville, les besoins énergétiques totaux sont d'environ 10 000 kWh par année. Par contre, la demande des maisons hors réseau peut être beaucoup moins élevée parce que leurs propriétaires ont tendance à conserver l'énergie. En théorie, vous pourriez répondre à tous vos besoins liés à l'éclairage et aux appareils électroménagers avec un système de moins de 1 kW à accumulateurs qui produit 8 760 kWh d'énergie par année (en supposant un facteur de capacité de 100 p. 100). Toutefois, si l'on y ajoutait le chauffage de l'eau, les besoins énergétiques dépasseraient facilement 13 000 kWh par année. Dans ce cas, un système de 2 kW pourrait répondre à vos besoins, à condition que la charge de pointe ne dépasse pas 2 kW. En supposant un facteur de capacité de 70 p. 100, la production d'énergie par année serait d'environ 12 260 kWh. Si vous ne souhaitez pas utiliser des accumulateurs, vous pourriez avoir besoin d'un système qui produit entre 3 et 5 kW. Il existe des systèmes produisant de 200 à 400 W qui, lorsqu'ils sont jumelés à de bons onduleurs, suffisent aux besoins de nombreuses maisons hors réseau. Toutefois, vous auriez quand même besoin d'un bon système de gestion de la charge afin de vous assurer que la demande de pointe demeure inférieure à la capacité de production maximale du système (voir la première étude de cas à la section 4.1).

Pour une petite collectivité ou une auberge, selon le nombre de chambres et les besoins énergétiques, vous opterez peut-être pour un plus gros système dont la capacité se situe entre 15 et 30 kW. Un système bien conçu pourrait éliminer complètement

la nécessité d'avoir recours à une génératrice à combustible. Même si un tel système ne peut se substituer au propane pour la cuisson et le chauffage, il est beaucoup plus efficace de brûler du propane pour en tirer de la chaleur que pour alimenter une génératrice.

Le coût d'un microsystème hydroélectrique est en grande partie lié à la demande de pointe; il est donc important de réduire cette demande pour limiter le coût du système. Toutefois, si le potentiel de production du site est supérieur à votre demande, vous pourrez avoir un excédent d'électricité qu'il vous sera possible d'utiliser à d'autres fins, comme le chauffage de locaux, ou de vendre à vos voisins. Vous pourriez choisir de construire un petit système pour satisfaire uniquement vos besoins; dans le cas des sites dont le potentiel excède les besoins, vous aurez évidemment une importante décision à prendre. Le dimensionnement requiert donc des efforts considérables. Ce sont les études techniques et les études hydrologiques qui permettront de déterminer les options réalisables. Il y a lieu de répéter ici qu'économiser l'énergie coûte toujours moins cher que d'en produire davantage.

2.7 Questions et approbations environnementales

Au Canada, l'eau est une ressource qui appartient à l'État, et les ministères provinciaux et territoriaux des ressources naturelles en gèrent l'utilisation. On doit obtenir un permis auprès des autorités provinciales ou territoriales pour utiliser l'eau, même si celle-ci n'est pas consommée, par exemple pour alimenter un microsystème hydroélectrique.



Figure 10. Prise d'eau d'un microsystème hydroélectrique dans le ruisseau Seaton (Colombie-Britannique) (photo – gracieuseset de Homestead Hydro Systems)

Il est illégal de retirer l'eau de surface d'un cours d'eau sans obtenir au préalable un permis d'exploitation de l'eau ou une autre approbation. Toutefois, l'utilisation de l'eau non enregistrée pour des besoins domestiques, la prospection minérale ou la lutte contre les incendies ne constitue pas une infraction. L'eau non enregistrée est l'eau d'un cours d'eau qui n'est ni visée par un permis ni réservée à d'autres fins, mais qui est conservée à des fins environnementales telles que l'habitat du poisson et le milieu aquatique.

Avant d'investir temps et argent dans un microsystème hydroélectrique, vérifiez s'il y a des questions de nature réglementaire à résoudre. L'installation d'un tel système peut comporter des éléments de nature institutionnelle ou légale. Votre projet se réalisera plus facilement si toute question de réglementation a été soulevée au préalable. L'obtention d'un permis peut parfois prendre un certain temps.

Communiquez d'abord avec les bureaux du gouvernement provincial ou territorial responsables des terres et des eaux afin de déterminer quels permis locaux sont requis dans votre région. Le ministère des ressources naturelles de la province ou du territoire pourra vous préciser ce qu'il vous faut et vous guider dans la manière de réaliser l'évaluation ou de présenter une demande. L'évaluation dépendra de la nature et de l'envergure du projet; dans certains cas, le rapport d'évaluation pourra compter seulement deux ou trois pages. Les permis locaux doivent être obtenus et les exigences locales satisfaites avant qu'un permis fédéral soit délivré pour un aménagement hydroélectrique, s'il y a lieu.

Les permis et les approbations dont vous aurez besoin pour construire un microsystème hydroélectrique comprennent des approbations environnementales (provinciales/territoriales et fédérales), un accord d'utilisation des eaux (provincial/territorial), un accord d'exploitation (provincial/territorial), des ententes de location de terres (provinciales/territoriales), un permis d'utilisation des eaux navigables (fédéral) et un permis de construction (provincial/territorial). Conformément à la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*, une étude d'impact est requise si le projet reçoit un financement fédéral ou s'il concerne des terres fédérales et que l'organisme d'approbation juge qu'il peut avoir un impact important sur l'environnement. Il est toutefois peu probable que vous ayez

besoin d'un permis fédéral, compte tenu de la capacité des systèmes visés par ce guide. L'aménagement d'un microsystème sur la propriété du promoteur ne devrait guère présenter de problèmes. Le permis d'utilisation des eaux est délivré selon le principe du premier arrivé, premier servi, et la quantité d'eau pouvant être dérivée pour produire de l'électricité est déterminée au moment de l'émission du permis. Certaines conditions peuvent s'appliquer : par exemple, on peut exiger que le débit minimal non dérivé du cours d'eau soit toujours d'au moins 10 p. 100 de son débit annuel moyen. Aux endroits où il y a migration transfrontalière d'espèces comme le saumon, Pêches et Océans Canada s'intéresse au poisson et à son habitat.

Le traitement des demandes de permis peut prendre un ou deux, voire trois ans. Les propriétaires peuvent entamer les travaux alors qu'ils attendent que le permis soit délivré, mais seulement si le système en question ne sera utilisé qu'à des fins domestiques. Les projets hydroélectriques requièrent un permis d'utilisation des eaux en vertu de la *Loi sur les ressources en eau du Canada*.

En Colombie-Britannique, la société Land and Water British Columbia Inc. est le guichet unique où il faut s'adresser pour tout ce qui touche aux exigences provinciales relatives à l'utilisation des terres et des eaux. Conformément à la *Land Act* de la Colombie-Britannique, il faut obtenir une approbation pour tout élément d'un projet situé sur les terres de l'État, y compris la centrale, les routes et les lignes de transport. La société Land and Water British Columbia Inc. examine les projets hydroélectriques dont la capacité est inférieure à 50 MW. Notons que chaque province et chaque territoire possède sa propre réglementation.

Des permis d'utilisation des eaux sont généralement délivrés pour trois catégories de projets hydroélectriques : résidentielle, commerciale et générale. La catégorie résidentielle concerne les projets dont la capacité est de 25 kW ou moins (en Colombie-Britannique) et dont l'électricité est utilisée pour satisfaire les besoins domestiques du titulaire de

permis. La catégorie commerciale concerne les projets dont l'électricité est vendue à des membres de la famille immédiate, à des employés ou à des locataires du titulaire de permis et dont la capacité est d'au plus 499 kW, ou les projets dont l'électricité alimente une installation industrielle dans laquelle le titulaire du permis possède une part de plus de 50 p. 100. La catégorie générale concerne les projets dont la capacité dépasse les besoins domestiques et commerciaux du titulaire de permis et comprend les projets dont l'électricité est vendue au réseau provincial ou territorial. Les redevances d'utilisation de l'eau exigées annuellement dépendent de la catégorie du projet (résidentielle, commerciale ou générale), de la capacité du système et de sa production annuelle réelle.

Vous devez obtenir un autre permis auprès de l'office local de la sécurité des installations électriques pour installer la génératrice, les tableaux de commande et le reste du matériel électrique. Ce matériel doit être conforme au *Code canadien de l'électricité*. Tout matériel électrique doit être approuvé et homologué par la CSA International.

On peut prévoir, en général, un délai d'un à deux ans pour la construction d'un microsystème hydroélectrique, et ce, à partir de la date de la première demande d'information. L'approbation de petits systèmes – et surtout ceux qui utilisent des tuyaux existants – peut se faire beaucoup plus rapidement. Vous pourriez assurer le suivi vous-même à tous les niveaux mais, selon les circonstances, il peut être avantageux de faire appel à un consultant professionnel pour accélérer le processus. Le processus d'approbation joue un rôle important : il représente la recherche d'une démarche acceptable afin d'assurer l'utilisation optimale d'un segment d'un cours d'eau. Or, nous cherchons tous à protéger l'environnement tout en utilisant au mieux les ressources naturelles à notre disposition. Si vous désirez obtenir plus d'information, communiquez avec les bureaux régionaux du ministère provincial ou territorial responsable de l'utilisation des terres et des eaux ainsi que des projets hydroélectriques ou consultez leurs sites Web.

3.0 Composants de base

Voici les composants de base d'un microsystème hydroélectrique typique :

- les ouvrages de génie civil (ouvrage de dérivation, prise d'eau, rampe de dégravage et déversoir, canal d'amenée, bief d'amont et dessableur, conduite forcée, centrale et canal de fuite);
- les composants de la centrale (turbines, génératrices, groupe d'entraînement et régulateur);
- le réseau de transport et de distribution.

3.1 Ouvrages de génie civil

Les ouvrages de génie civil contrôlent la circulation de l'eau dans un microsystème hydroélectrique; les ouvrages d'adduction en constituent une partie importante. Il importe que ces ouvrages soient situés aux endroits appropriés et qu'ils soient conçus pour présenter un rendement et une stabilité optimums. En vue de réduire les coûts et d'assurer la fiabilité du système, d'autres facteurs doivent être pris en compte, notamment l'utilisation d'une technologie appropriée, l'utilisation optimale des matériaux et de la main-d'œuvre disponibles localement, la sélection d'ouvrages à la fois rentables et écologiques, ainsi que le traitement des zones de glissement de terrain et de la zone du bassin versant.



Figure 11. Prise d'eau d'un système de 7 kW (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)



Figure 12. Prise d'eau d'un microsystème de 2 kW (photo – gracieuseté de Homestead Hydro Systems)

Ouvrages de dérivation

Les ouvrages de dérivation consistent en un barrage (voir la figure 11), une prise d'eau et des ouvrages de protection à la prise d'eau permettant de détourner l'eau en toute sécurité vers le canal d'amenée. Dans certains sites, il peut être possible de relier directement la conduite forcée à la prise d'eau, sans construire un canal d'amenée.

Prise d'eau

La prise d'eau (voir la figure 12) permet de tirer la quantité d'eau nécessaire de la rivière ou du ruisseau et de l'acheminer dans le canal d'amenée du microsystème hydroélectrique. Elle est conçue et située précisément de manière à assurer que la turbine reçoive la totalité du débit de conception. Comme de nombreux microsystèmes sont au fil de l'eau, on peut, selon le site, utiliser un barrage à faible hauteur de chute pour retenir l'eau et assurer un débit plus stable.

Rampe de dégravage et déversoir

La rampe de dégravage et la grille se trouvent près de la prise d'eau afin d'empêcher les débris, le gravier et le sable de pénétrer dans la conduite forcée. Les rampes de dégravage comportent souvent un mécanisme pour retourner l'excédent d'eau et les sédiments dans le cours d'eau en aval de la prise d'eau. Le déversoir est conçu pour évacuer l'excédent d'eau et protéger la prise d'eau en période de grande crue.

Canal d'amenée

Le canal d'amenée permet d'acheminer l'eau depuis la prise d'eau jusqu'au bief d'amont. Généralement, ce canal est disposé parallèlement au cours d'eau et à une dénivellation croissante par rapport à celui-ci, plus on va vers l'aval, ce qui assure la hauteur de chute nécessaire. La section et le tracé du canal doivent être conçus de manière à assurer un rendement et une rentabilité optimums, et à réduire les pertes causées par les fuites. Vous pouvez utiliser un canal à ciel ouvert ou une canalisation pour transporter l'eau jusqu'au bief d'amont.

Bief d'amont et dessableur

Le dessableur permet de faire précipiter les particules de limon en suspension dans l'eau, puis de les éliminer. Le bief d'amont relie le canal d'amenée à la conduite forcée; il permet de faire précipiter les fines particules avant que l'eau n'entre dans la conduite forcée. Une fine grille disposée sur la prise d'eau de la conduite forcée piège les débris et la glace qui pourraient endommager la turbine et les vannes.



Figure 13. Grille en bois d'un microsystème de 24 kW (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

Conduite forcée

La conduite forcée achemine l'eau sous pression depuis le bief d'amont jusqu'à la turbine où l'énergie potentielle de l'eau est convertie en énergie cinétique faisant tourner la turbine. La conduite forcée est souvent le composant le plus cher du projet – il n'est pas rare qu'elle représente jusqu'à 40 p. 100 des coûts d'une installation à grande hauteur de chute. Il y a donc lieu d'en optimiser la conception afin d'en minimiser le coût. La sélection du type et

de la dimension de la conduite dépend de plusieurs facteurs que nous examinons brièvement dans la présente section. Fondamentalement, il s'agit d'en arriver au meilleur compromis entre la perte de charge et les coûts d'immobilisations.

La perte de charge causée par le frottement dans la conduite forcée est fonction principalement de la vitesse d'écoulement de l'eau, de la rugosité des parois et de la longueur et du diamètre de la conduite. Cette perte diminue considérablement au fur et à mesure qu'augmente le diamètre. Inversement, le coût de la conduite augmente rapidement avec le diamètre. Il faut donc établir un juste équilibre entre le coût et le rendement. La démarche souhaitable en matière de conception consiste à cerner d'abord les options possibles en ce qui concerne la conduite forcée, puis à fixer un objectif de perte de charge ne dépassant pas 5 à 10 p. 100 de la hauteur de chute brute, tout en maintenant la longueur aussi faible que possible. Avant de choisir une conduite appropriée, il sera peut-être nécessaire d'effectuer des calculs techniques et économiques pour plusieurs tailles et types de matériaux. Une petite conduite permettra peut-être de réduire les coûts d'immobilisations, mais la perte de charge qui y est associée pourrait faire diminuer la production ainsi que les revenus (si vous vendez l'électricité). Dans les systèmes plus petits, la perte de charge admissible peut parfois atteindre 33 p. 100. Ce facteur revêt une importance particulière pour les promoteurs qui utilisent la même conduite pour s'approvisionner en eau domestique et pour alimenter la turbine.

On doit tenir compte de plusieurs facteurs lors de la sélection du matériau de la conduite forcée : pression nominale, rugosité de la paroi intérieure, méthode d'assemblage, poids et facilité d'installation, accessibilité au site, durée de vie prévue et entretien, conditions météorologiques, disponibilité, coût relatif et risques de dommages structuraux. La résistance nominale à la pression constitue une caractéristique essentielle de la conduite, car la paroi de celle-ci doit être suffisamment épaisse pour résister à la pression d'eau maximale, sinon la conduite risque d'éclater. La pression d'eau dans la conduite dépend de la hauteur de chute : plus la hauteur est grande, plus la pression est élevée. La pression nominale est habituellement exprimée en bars ou en livres par pouce carré (lb/po²); une hauteur de chute de 10,2 m exercera une pression de 1 bar, soit 14,5 lb/po². Le prix de la conduite forcée augmente au fur et à mesure que la pression nominale augmente.



Figure 14. Enfouissement dans un terrain en pente raide d'une conduite en PEHD (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

Les conduites forcées sont le plus souvent faites de polyéthylène haute densité (PEHD), de polychlorure de vinyle non plastifié ou d'acier doux, matériaux abordables et disponibles sur le marché qui conviennent à cet usage. L'aménagement de la conduite forcée dépend du matériau, des caractéristiques du terrain et des facteurs environnementaux à considérer. Généralement, la conduite est installée à la surface du sol ou elle est enfouie. Il faut prendre un soin particulier lorsque les conduites sont installées dans un environnement très froid et prévoir des mesures de protection contre le froid et le gel.

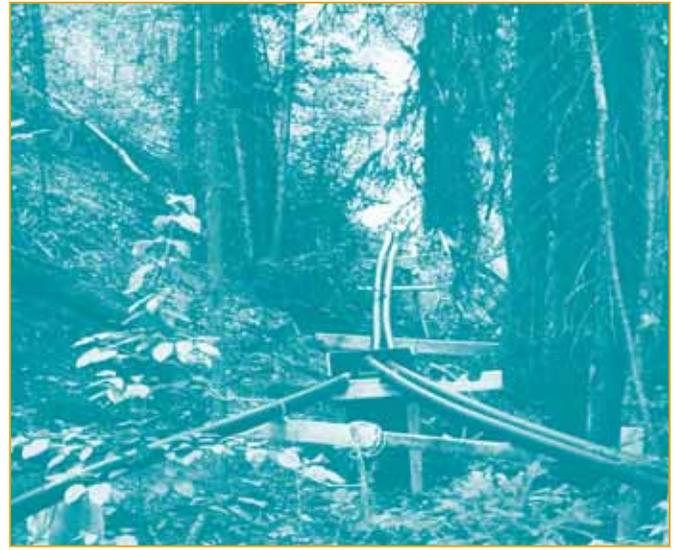


Figure 15. Conduite forcée en PEHD de 10 cm (4 po) à doubles parois d'un système de 8 kW

Dans les régions de gel important, les conduites doivent toujours être enfouies au-dessous de la ligne de gel. Si le gel n'est pas source de préoccupation, on peut poser la conduite à la surface du sol; toutefois, il est préférable d'enfouir la conduite pour réduire l'effet dilatation-contraction et la protéger des animaux et des chutes d'arbre. En raison des variations de température ambiante, la conduite forcée peut être exposée en alternance à la dilatation et à la contraction. On utilise des joints de dilatation pour compenser les variations maximales possibles de longueur.

Tableau 3. Comparaison des matériaux de la conduite forcée¹

Matériau	Frottement	Poids	Corrosion	Coût	Assemblage	Pression
Acier doux	★★★	★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★★
PEHD ²	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★	★★	★★★★★
PVCnp ³	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★★

¹ Adapté de Peter Fraenkel et coll., *Micro-Hydro Power: A Guide for Development Workers*. Londres, R.-U., Intermediate Technology Publications en collaboration avec le Stockholm Environment Institute, 1991.

★ = Faible —————> ★★★★★ = Excellent

² PEHD = Polyéthylène haute densité

³ PVCnp = Polychlorure de vinyle non plastifié

Centrale et canal de fuite

La centrale (voir la figure 16) est un bâtiment qui abrite la turbine, la génératrice et des appareils de régulation. Bien qu'elle puisse être de construction simple, sa fondation doit être solide. Le canal de fuite est un canal qui permet de retourner au ruisseau ou à la rivière l'eau sortant de la turbine.

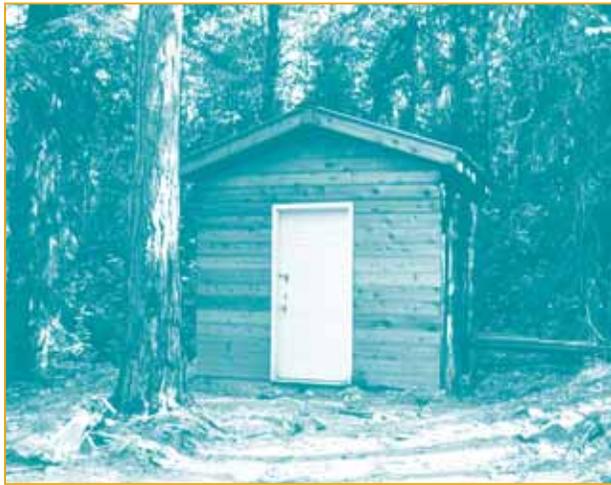


Figure 16. Centrale d'un système de 8 kW (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

3.2 Composants de la centrale

Turbines

Une turbine consiste en une roue couplée à un arbre permettant de convertir l'énergie potentielle de l'eau qui s'écoule en énergie mécanique utile (aussi appelée puissance sur l'arbre). Selon la vitesse requise pour le fonctionnement de la génératrice, la turbine est reliée à cette dernière soit directement, soit au moyen d'engrenages ou d'un ensemble courroies-poulies (pour des renseignements sur les

systèmes d'entraînement, se reporter à la section 3.3). Le choix de turbine est principalement guidé par la hauteur de chute et par le débit de conception du système; il dépend aussi de la vitesse de fonctionnement de la génératrice. D'autres facteurs ont une grande influence sur ce choix, entre autres, si l'on s'attend à une production d'électricité dans des conditions de débit partiel, c'est-à-dire lorsque le débit est inférieur au débit de conception. En général, le fonctionnement optimal des turbines a tendance à être lié à une combinaison particulière de vitesse, de hauteur de chute et de débit. Afin de répondre aux diverses conditions de hauteur de chute et de débit, les turbines sont généralement réparties en quatre groupes (hauteur de chute élevée, moyenne, faible ou très faible) et en deux catégories (à action et à réaction).

Au Canada, les turbines de type Pelton ou Turgo sont les turbines à action les plus couramment utilisées dans les microsyntèmes hydroélectriques. De fabrication simple, elles sont relativement peu coûteuses et possèdent une bonne efficacité et une bonne fiabilité. Pour composer avec les variations de débit, on peut facilement réguler le jet d'eau dans ces turbines en changeant la taille d'injecteur ou en utilisant des injecteurs réglables. Les turbines Pelton sont utilisées dans les sites à faible débit et à hauteur de chute élevée.

La plupart des petites turbines à réaction s'ajustent difficilement aux variations de débit, et celles qui sont réglables coûtent cher parce qu'elles sont dotées d'aubes directrices à incidence variable. Les turbines à réaction offrent par contre l'avantage de permettre l'utilisation de toute la hauteur de chute disponible parce que le tube d'aspiration utilisé avec la turbine récupère une certaine partie de la charge de pression une fois que l'eau a quitté la turbine. On fabrique maintenant des turbines à réaction qui produisent de l'électricité malgré une hauteur de chute aussi faible que 1 m (3 pi).

Tableau 4. Classement des turbines

Catégorie de turbine	Hauteur de chute élevée (plus de 100 m [325 pi])	Hauteur de chute moyenne (de 20 à 100 m [de 60 à 325 pi])	Faible hauteur de chute (de 5 à 20 m [de 16 à 60 pi])	Très faible hauteur de chute (moins de 5 m [16 pi])
À action	Pelton Turgo	À impulsions radiales Turgo Pelton à jets multiples	À impulsions radiales Turgo à jets multiples	Roue hydraulique
À réaction	—	Turbine-pompe Francis	À hélice Kaplan	À hélice Kaplan

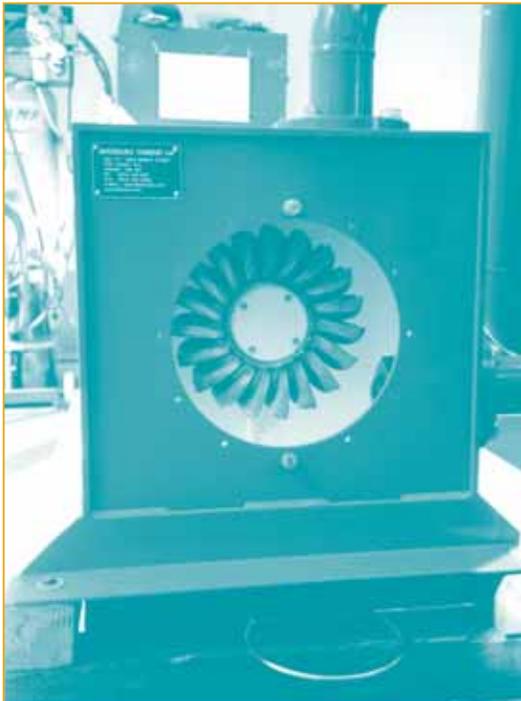


Figure 17. Roue à diamètre primitif de 20 cm (8 po) d'une turbine Pelton (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

Turbine-pompe

Depuis de nombreuses années, les pompes classiques dotées d'un mécanisme de renversement du sens de la marche – ce qui leur permet d'être utilisées comme turbines hydrauliques – suscitent beaucoup d'intérêt. Lorsqu'on les fait fonctionner en sens inverse, les pompes centrifuges agissent comme des turbines hydrauliques. Comme ces pompes sont fabriquées en série, elles sont plus faciles à trouver sur le marché et moins coûteuses que les turbines. Le coût d'une turbine-pompe (TP) est, estime-t-on, au moins 50 p. 100 moins élevé que celui d'une turbine comparable. Toutefois, pour que le rendement d'une TP soit adéquat, le site doit offrir une hauteur de chute et un débit assez constants parce que les TP ont une efficacité très faible en conditions de débit partiel. On peut maximiser l'efficacité des TP en en installant plusieurs qui pourront être mises en marche ou arrêtées selon la quantité d'eau disponible dans le cours d'eau. L'efficacité des TP est maximale lorsque la hauteur de chute brute est comprise entre 13 et 75 m (40 et 250 pi). Plus la hauteur de chute est élevée, plus le coût par kilowatt est faible, comme c'est généralement le cas avec toutes les turbines.



Figure 18. Turbine-pompe d'une puissance de 12 kW à doubles conduites forcées de 10 cm (4 po) (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

Roues hydrauliques

Les roues hydrauliques constituent un moyen classique de convertir l'énergie de l'écoulement ou de la chute de l'eau en énergie mécanique utile. Elles sont moins efficaces que les turbines, mais continuent d'être une option viable pour la production d'électricité à des fins domestiques. Elles sont simples à régler, se prêtent bien à des projets à réaliser soi-même et possèdent un aspect esthétique agréable. Il existe trois types fondamentaux de roues hydrauliques : roue par dessous, roue de milieu (ou de poitrine) et roue par dessus. La roue Poncelet et la roue à rotation inverse en sont des variantes. Le principal inconvénient des roues hydrauliques est leur vitesse relativement faible; elles nécessitent donc, pour entraîner une génératrice, une boîte d'engrenages à rapport de démultiplication élevée ou un autre moyen d'augmenter la vitesse de rotation. Néanmoins, il y a lieu d'en envisager l'utilisation dans les microsystemes de faible puissance – par exemple, de moins de 5 kW disposant d'une hauteur de chute inférieure à 3 m (10 pi). Dans la plupart des régions du Canada, toutefois, on ne recommande généralement pas d'utiliser des roues hydrauliques en hiver parce qu'il est pratiquement impossible de prévenir la formation et l'accumulation de glace, ce qui pourrait les endommager.

Efficacité des turbines

Les plages d'efficacité typiques des turbines et des roues hydrauliques sont présentées au tableau 5. Pour obtenir des données plus précises, communiquez avec les fabricants de turbines. Les turbines sont choisies, ou parfois fabriquées, sur mesure,

en fonction des conditions du site. Le choix de turbine constitue l'une des plus importantes étapes de la conception d'un microsystème hydroélectrique; il faut faire appel aux compétences d'un ingénieur pour sélectionner, pour un site donné, la turbine qui sera la plus efficace en tenant compte du coût, des variations de hauteur de chute et de débit, de la quantité de sédiments présents dans l'eau et de la fiabilité globale de la turbine.

Tableau 5. Efficacité typique des turbines et des roues hydrauliques

Type de turbine ou de roue	Plage d'efficacité
Turbines à action :	
Pelton	De 80 à 90 %
Turgo	De 80 à 95 %
À impulsions radiales	De 65 à 85 %
Turbines à réaction :	
Francis	De 80 à 90 %
Turbine-pompe	De 60 à 90 %
À hélice	De 80 à 95 %
Kaplan	De 80 à 90 %
Roues hydrauliques :	
Par dessous	De 25 à 45 %
De milieu	De 35 à 65 %
Par dessus	De 60 à 75 %

Génératrices

Les génératrices convertissent en énergie électrique l'énergie mécanique rotationnelle produite par une turbine; c'est le cœur de tout système hydroélectrique. Le principe de fonctionnement de la génératrice est simple : lorsqu'une bobine se déplace dans un champ magnétique, une tension est induite dans le fil de la bobine.

Les génératrices de courant alternatif (c.a.) sont aussi appelées alternateurs. Elles produisent un courant dont la tension oscille de part et d'autre de zéro. Tous les alternateurs fonctionnent selon ce même principe, que ce soient ceux des grandes centrales hydroélectriques et des centrales nucléaires ou celui dans votre voiture. Toutefois, la vitesse de rotation varie selon le type d'alternateur.

Il existe deux types de génératrices : synchrones et asynchrones. Les génératrices synchrones (voir la figure 19) sont couramment utilisées pour produire de l'électricité, et c'est ce type que l'on trouve dans la plupart des centrales. Les génératrices asynchrones sont aussi connues sous le nom d'alternateurs à induction. Ces deux types de génératrices sont disponibles en modèles monophasés et triphasés. On utilisera une génératrice monophasée ou triphasée selon la capacité du système, le type de charge et la longueur des lignes de transport et de distribution.

Les génératrices asynchrones conviennent généralement aux petits systèmes. Elles possèdent l'avantage d'être plus robustes et moins coûteuses que les modèles synchrones. Une génératrice asynchrone consiste en un moteur à induction triphasé ordinaire, câblé pour fonctionner comme un alternateur. On incorpore des condensateurs aux fins d'excitation, une pratique fort répandue dans les petits systèmes qui produisent moins de 10 à 15 kW.

Les génératrices doivent être entraînées à une vitesse constante pour produire un courant électrique d'intensité uniforme à la fréquence de 60 Hz. Le nombre de pôles dans la génératrice détermine la vitesse, qu'on exprime couramment en tours par minute (tr/min). Plus il y a de paires de pôles, plus la vitesse est faible. Une génératrice à 2 pôles qui tourne à 3 600 tr/min ne convient pas à un microsystème hydroélectrique, car sa vitesse de rotation est trop élevée. La génératrice à 4 pôles qui tourne à 1 800 tr/min est le type le plus couramment utilisé. Le coût d'une génératrice est à peu près inversement proportionnel à sa vitesse; plus la vitesse est faible, plus le bâti doit être gros pour une production donnée d'électricité. C'est pour cette raison que les génératrices tournant à moins de 1 200 tr/min sont coûteuses et encombrantes. Un multiplicateur, tel qu'une courroie ou une boîte à engrenages, peut être requis pour ajuster la faible vitesse de la turbine à la vitesse requise de la génératrice.



Figure 19. Turbine Pelton directement couplée à une génératrice synchrone de 8 kW

On peut produire de l'électricité sous forme de courant alternatif (c.a.) ou de courant continu (c.c.). Le c.a. présente l'avantage de pouvoir alimenter les appareils électroménagers et les outils courants et d'être beaucoup plus économique à transporter. Le c.c. peut être utilisé de deux façons : il peut être consommé directement comme c.c. ou converti en c.a. à l'aide d'un onduleur. La facilité de stockage du c.c. dans un accumulateur constitue son principal avantage. On utilise des génératrices c.c. spécialement conçues pour alimenter les systèmes c.c. qui sont décrits plus en détail à la section 4.1.

Efficacité des génératrices

L'efficacité à pleine charge des génératrices synchrones varie, selon leur taille, de 75 à 90 p. 100. Les grosses génératrices sont plus efficaces, et les triphasées sont généralement plus efficaces que les monophasées. Lorsqu'on utilise la génératrice en conditions de charge partielle (p. ex., à 50 p. 100 de la charge nominale), l'efficacité est réduite de quelques points de pourcentage. L'efficacité des génératrices asynchrones est d'environ 75 p. 100 à pleine charge, et elle diminue jusqu'à 65 p. 100 à charge partielle. Les génératrices c.c. à aimants permanents possèdent une efficacité supérieure à 80 p. 100 à pleine charge. Il est très important de tenir compte de ces données lors du choix d'une génératrice parce qu'elles influent sur l'efficacité globale du système.

Il y a d'autres facteurs à considérer lors de la sélection d'une génératrice, par exemple, la capacité du système, les types de charge, la disponibilité des

pièces de rechange, la régulation de la tension et le coût. Si une part importante des charges risquent d'être inductives, par exemple des moteurs et des lampes fluorescentes, une génératrice synchrone sera plus efficace qu'une génératrice asynchrone. Dans un système autonome, une génératrice asynchrone ne peut assurer l'alimentation de surcharge requise pour le démarrage d'un moteur. Le choix du type et de la taille d'une génératrice est une tâche de nature très technique qui doit être confiée à un spécialiste de l'énergie lors de l'étude de faisabilité.

3.3 Systèmes d'entraînement

Pour produire de l'électricité sous une tension et à une fréquence stables, le système d'entraînement doit transmettre le mouvement de la turbine à l'arbre de la génératrice, et ce, dans la bonne direction et à la bonne vitesse. Voici des systèmes d'entraînement couramment utilisés avec les microsystèmes hydroélectriques :

- **À entraînement direct** : Un système dans lequel l'arbre de la turbine est relié directement à l'arbre de la génératrice. Les systèmes à entraînement direct ne sont utilisés que dans les cas où la vitesse de l'arbre de la génératrice et la vitesse de l'arbre de la turbine sont compatibles. Ce type de système offre les avantages suivants : peu d'entretien, efficacité élevée et faible coût.
- **À poulies et courroies en « V »** : C'est le choix le plus courant pour les microsystèmes hydroélectriques. Comme ce type de courroies sert à toutes sortes de petites machines industrielles, on peut se les procurer très facilement.
- **À courroie synchrone et roue dentée** : Ce type de système d'entraînement, qui fait appel à des courroies et des roues dentées, est courant dans les systèmes à arbres à cames des véhicules. C'est un système efficace qui fonctionne bien; il y a lieu d'envisager leur utilisation dans les très petits systèmes (puissance inférieure à 3 kW) pour lesquels l'efficacité est un facteur critique.
- **À boîte à engrenages** : Les boîtes à engrenages conviennent aux grosses machines dans lesquelles les systèmes à courroie seraient trop encombrants et inefficaces. Leurs caractéristiques techniques, leur alignement, l'entretien qu'elles exigent et leur coût constituent une source de problèmes, sauf lorsqu'elles sont prescrites comme partie intégrante d'un groupe turbine-génératrice.

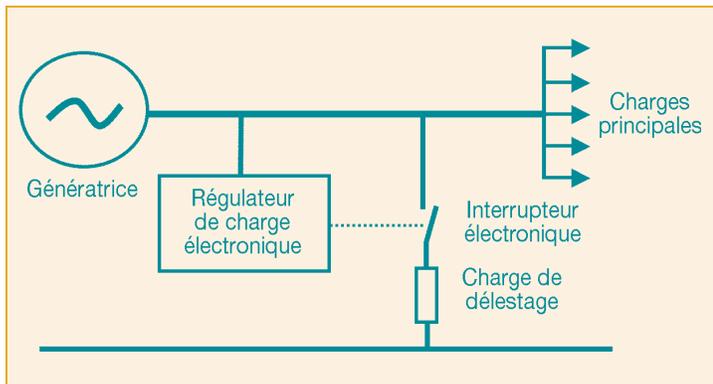


Figure 20. Schéma simplifié comportant une génératrice, un régulateur de charge électronique et des charges principales

3.4 Régulateurs de charge électroniques

Tout comme les moteurs à essence ou au diesel, les turbines hydrauliques tournent à des vitesses qui varient selon que des charges sont mises en circuit ou hors circuit. Cette variation de vitesse n'est pas un problème important dans le cas d'une machine alimentée directement par la puissance à l'arbre. Cependant, dans le cas d'une génératrice, cette variation aura un effet important sur la fréquence et la tension du courant produit, et elle pourrait endommager la génératrice à la suite d'une surcharge découlant d'une demande élevée ou en raison d'une vitesse de rotation trop élevée découlant d'une demande faible ou nulle. Dans le passé, on utilisait de complexes et coûteux régulateurs de vitesse hydrauliques ou mécaniques, semblables à ceux utilisés dans les gros systèmes hydroélectriques, pour réguler le débit de l'eau entrant dans une turbine dont la demande en électricité varie. Cependant, au cours des deux dernières décennies, on a mis au point des régulateurs de charge électroniques (RCE) qui ont permis de simplifier les microsystèmes hydroélectriques modernes tout en améliorant leur fiabilité.

Un RCE est un dispositif électronique à semi-conducteur conçu pour réguler la puissance de sortie d'un microsystème hydroélectrique. Le maintien d'une charge presque constante à la

turbine permet à la génératrice de produire un courant dont la tension et la fréquence sont stables. Le régulateur compense toute variation dans les charges principales en modifiant automatiquement la quantité d'électricité dissipée dans une charge résistive, généralement appelée charge de délestage ou charge de lissage, afin de maintenir constante la demande totale exigée de la génératrice et de la turbine. La charge de délestage est généralement constituée d'un chauffe-eau. Un RCE mesure constamment la fréquence du courant et en assure la régulation; la fréquence est directement proportionnelle à la vitesse de rotation de la turbine.

Il n'est pas nécessaire de réguler la tension du courant produit par une génératrice synchrone, car celle-ci comporte un régulateur de tension automatique intégré. Sans RCE, la fréquence varie avec la demande et, dans des conditions de fonctionnement à vide, c'est-à-dire lorsque la demande est nulle, elle dépasse de beaucoup la fréquence nominale. Les RCE réagissent tellement rapidement aux variations de charge que les variations de vitesse ne sont même pas perceptibles à moins qu'une charge très importante ne soit mise en circuit. L'absence de pièces mobiles, la fiabilité et l'entretien pratiquement nul constituent les principaux avantages des RCE. L'arrivée de tels régulateurs a permis d'utiliser dans les microsystèmes hydroélectriques des turbines à jets multiples qui sont simples et efficaces et d'abandonner l'utilisation de coûteux régulateurs hydrauliques.

On peut également utiliser les RCE comme systèmes de gestion de la charge, en leur attribuant une charge secondaire prioritaire prédéterminée, par exemple le chauffage de l'eau ou le chauffage des locaux. On peut ainsi utiliser l'électricité disponible au lieu de l'acheminer dans la charge de délestage. Les RCE peuvent être employés pour mettre en circuit des charges suivant une séquence de priorité, ce qui permet ainsi de réguler des charges totalisant de quatre à cinq fois la production réelle d'un microsystème hydroélectrique. Pour obtenir d'autres renseignements sur la gestion de la charge, se reporter à la section 2.4.

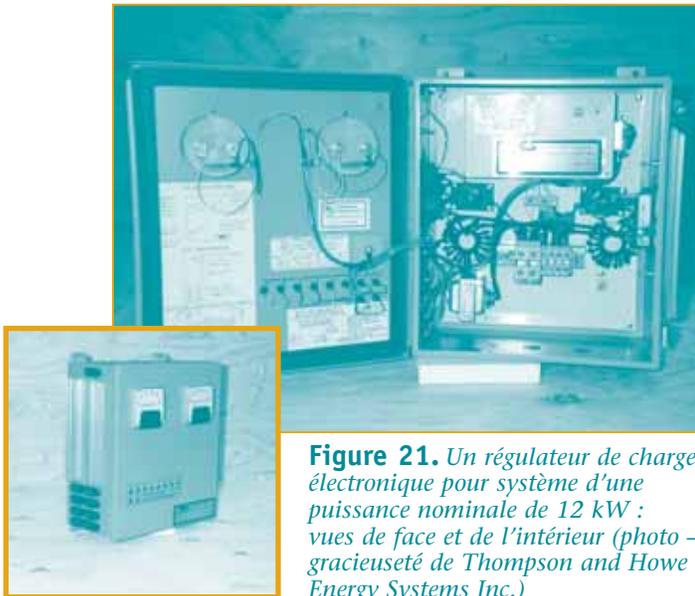


Figure 21. Un régulateur de charge électronique pour système d'une puissance nominale de 12 kW : vues de face et de l'intérieur (photo – gracieuseté de Thompson and Howe Energy Systems Inc.)

On trouve sur le marché divers types de RCE qui permettent de réguler des systèmes dont la puissance peut varier d'aussi peu que 1 kW jusqu'à 100 kW. Le choix du régulateur dépend du type de génératrice. Les RCE conviennent aux génératrices synchrones. Par contre, les génératrices asynchrones nécessitent des régulateurs de génératrice asynchrone (RGA). Les RGA fonctionnent selon un principe semblable à celui des RCE, mais ils mesurent la tension du courant produit et acheminent la production excédentaire dans la charge de délestage.

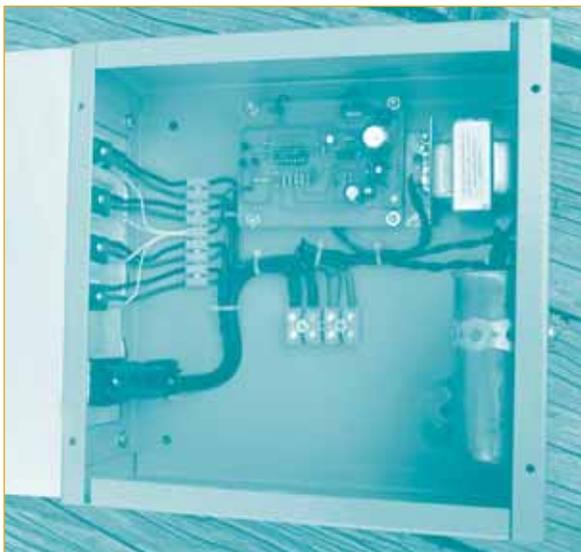


Figure 22. Un régulateur de génératrice asynchrone à puissance nominale de 3 kW (photo – gracieuseté de Homestead Hydro Systems)

On voit arriver sur le marché d'autres types de régulateurs, dont le fonctionnement est basé sur les mêmes principes et qui pourraient convenir à votre application. Par exemple, les régulateurs intelligents de charge répartis (RICR) distribuent l'électricité à diverses charges à l'intérieur de la maison ou du système de distribution. Ils sont connectés directement à des appareils de réfrigération, de chauffage des locaux ou de chauffage de l'eau, selon une séquence de priorités. Les RICR mesurent la fréquence et la tension du courant produit par le système et répartissent le courant en conséquence, éliminant le risque de surcharger le système de production. Dans le but de régler le problème de gestion de la charge, il est possible d'utiliser ces régulateurs intelligents avec d'autres régulateurs, comme les RCE et les RGA, ou pour les remplacer.

Il convient de préciser que les régulateurs peuvent causer des interférences des fréquences radio. Ces régulateurs sont habituellement fournis dans un boîtier à l'épreuve des intempéries, lequel contient également le compteur d'électricité, des dispositifs de protection de la sécurité et de commutation, ainsi que toutes les connexions pour les câbles de transmission.

3.5 Réseau de transport et de distribution

Les lignes électriques aériennes constituent le moyen le plus courant de transporter l'électricité depuis la centrale jusqu'aux utilisateurs. Le type et la taille des câbles électriques requis dépendent de la quantité d'électricité à transporter et de la longueur de la ligne. Dans la plupart des microsystèmes hydro-électriques, les lignes de transport sont monophasées. Dans les plus gros systèmes, il peut être nécessaire d'élever la tension au moyen d'un transformateur ou d'utiliser un système triphasé ordinaire, afin de réduire les pertes en cours de transport. Selon les conditions environnementales et géographiques, il se peut même que vous deviez envisager l'installation d'une ligne électrique souterraine, beaucoup plus coûteuse qu'une ligne aérienne, pour des raisons de sécurité. Tous les travaux d'électricité doivent être réalisés conformément aux codes de l'électricité national et local; ils ne doivent être entrepris que par des professionnels qualifiés et certifiés.

4.0 Choix d'un système

Le choix d'un microsystème hydroélectrique dépendra de la capacité dont vous avez besoin, de la demande prévue et du profil du site. Il importe de savoir si le système sera utilisé de manière autonome dans un endroit isolé ou s'il sera branché au réseau.

Dans la présente section, on décrit brièvement les types de microsystèmes hydroélectriques disponibles. Il existe généralement deux types de systèmes pour les sites isolés, soit les systèmes à accumulateurs et les systèmes à courant alternatif (c.a.). Seuls les systèmes c.a. peuvent être connectés au réseau; cependant, il faut également tenir compte d'autres facteurs. On peut obtenir plus de renseignements auprès des fabricants et des fournisseurs.

4.1 Microsystèmes à accumulateurs

Si le microsystème hydroélectrique est incapable de produire suffisamment d'électricité en période de pointe, on utilise des accumulateurs pour stocker de l'énergie qui sera alors utilisée la nuit ou qui servira à répondre à la demande durant le jour. Les systèmes à accumulateurs peuvent convenir aux besoins si l'électricité produite sert à l'éclairage et à alimenter certains appareils éconergétiques. Ces systèmes utilisent des accumulateurs à décharge profonde, conçus pour soutenir des centaines de cycles où alternent la recharge et la décharge graduelle de 50 p. 100 de leur capacité. De nombreuses maisons hors réseau utilisent des systèmes à accumulateurs, dont certaines qui sont également dotées de systèmes à énergie solaire ou éolienne. Les systèmes à accumulateurs nécessitent un débit d'eau inférieur à celui des systèmes à courant alternatif, ce qui est avantageux. Ils sont habituellement moins coûteux et utilisent au maximum l'énergie produite.

Plusieurs entreprises spécialisées offrent leurs systèmes à des prix compétitifs. N'hésitez pas à magasiner jusqu'à ce que vous trouviez un système qui convient à vos besoins et à votre budget. Les systèmes à accumulateurs sont petits et faciles à installer, et la turbine et la génératrice sont normalement intégrés en un seul appareil. De plus, au fil des ans, ces systèmes se sont taillé une bonne réputation en raison de leur fiabilité. Il faut aussi noter que le système qui stocke de l'énergie peut également, en période de pointe, fournir de l'électricité correspondant à plusieurs fois la puissance

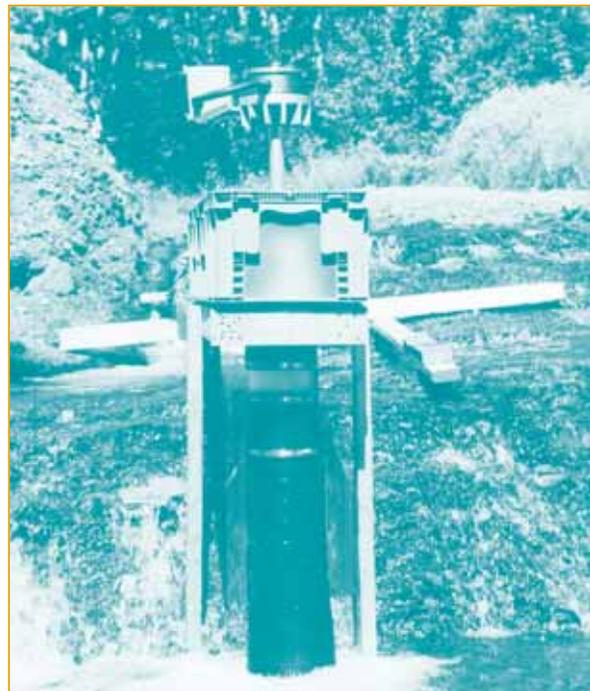


Figure 23. Système de 1 kW à accumulateurs et à faible hauteur de chute (photo – gracieuseté de Energy Systems & Design)

produite. Grâce à une batterie d'accumulateurs, un système de 400 W peut fournir une puissance de pointe de 5 kW ou même plus s'il est doté des onduleurs appropriés – ce qui pourrait être utile pour répondre aux pointes de courte durée. Il faut recycler les accumulateurs usés ou les apporter à un lieu d'élimination des déchets dangereux afin de minimiser leurs effets éventuels sur l'environnement.

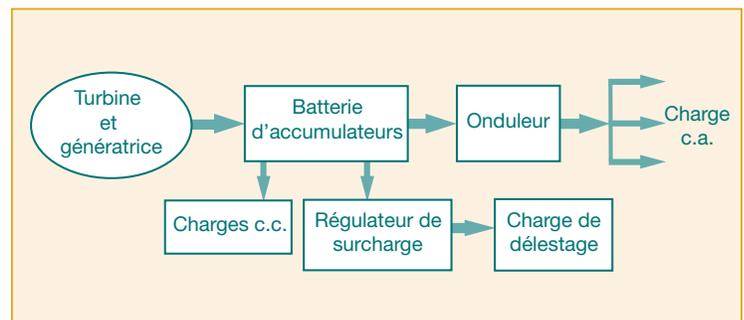


Figure 24. Mécanisme d'équilibrage d'un système à accumulateurs

L'équipement des systèmes à accumulateurs est conçu pour fonctionner sous des tensions de 12, 24, 36, 48, 120 ou 240 V c.c. Ce sont la capacité du

système et la distance sur laquelle l'électricité doit être transportée qui déterminent la tension appropriée. Plus la distance est grande, plus la tension doit être élevée pour réduire les pertes en cours de transport. On utilise un onduleur pour transformer le courant continu en courant alternatif sous une tension standard permettant de faire fonctionner des électroménagers. Vous pouvez également utiliser des électroménagers à c.c. alimentés directement à partir d'accumulateurs.

Les systèmes à accumulateurs disponibles sur le marché peuvent varier en puissance d'aussi peu que 100 W jusqu'à 1 600 W. Le tableau 6 en présente les différents types.

Les turbines de systèmes au fil de l'eau transforment l'énergie cinétique de l'eau qui se déplace; elles conviennent aux rivières et aux ruisseaux dont le volume d'eau est élevé et le courant est lent. Ces turbines sont différentes des turbines hydroélectriques classiques qui exploitent l'énergie potentielle qu'offre la hauteur de chute.

Tableau 6. Microsystèmes à accumulateurs

Système	Puissance de sortie (W)	Hauteur de chute minimum/maximum (m)	Débit minimum/maximum	Tension (V c.c.*)	Type de turbine et de génératrice
Très faible hauteur de chute	De 100 à 1 000	1/3	30/65 L/s	12/24/48/120	À hélice; génératrice à c.c. à aimants permanents
Faible ou moyenne hauteur de chute	De 50 à 1 600	3/60	0,6/10 L/s	12/24/48/120	Turgo; génératrice à c.c. à aimants permanents
Grande hauteur de chute	De 100 à 1 500	6/180	0,25/16 L/s	12/48	Pelton; alternateur de véhicule automobile
Courant d'eau	100	Débit d'eau	0,25 m/s	12/24	À hélice; génératrice immergée

* Courant continu

Première étude de cas : Microsystème de 200 W, à Lillooet (Colombie-Britannique)

(Information fournie par Scott Davis, de Yalakom Appropriate Technology [Colombie-Britannique])

Les microsystèmes hydroélectriques n'ont pas besoin d'être complexes pour offrir un bon service. En 1997, le propriétaire d'une résidence familiale rurale, située à l'ouest de Lillooet (Colombie-Britannique), a alimenté sa maison en électricité au moyen d'un système simple. Il a déroulé environ 200 verges (180 m) de conduites en polyéthylène de 5 cm (2 po) dans le ruisseau de la montagne qui coulait près de la maison. Quoique ce ne soient pas tous les cours d'eau qui se prêtent à ce genre d'aménagement, ce système particulier a résisté pendant des mois à des températures inférieures au point de congélation, en plus de fonctionner très bien à longueur d'année au cours des dernières années.

Le système, dans lequel la pression nette est d'environ 15 livres par pouce carré (lb/po²), exploite une hauteur de chute d'environ 10,5 m (35 pi); une génératrice à aimants permanents produit environ

200 W de puissance continue sous une tension de 24 V, grâce à un débit d'eau de 6 L/s (100 gal/min). L'électricité est acheminée sur une distance d'environ 60 m (200 pi) jusqu'à une batterie d'accumulateurs à décharge profonde de 900 ampères-heures (Ah) qui est reliée à un onduleur d'une puissance nominale de 2,5 kW. Il a fallu environ quatre jours pour installer le système.



Figure 25. Exploitation d'un microsystème de 200 W (photo – gracieuseté de Scott Davis, de Yalakom Appropriate Technology [Colombie-Britannique])

Ce système offre au propriétaire une quantité d'électricité qui s'apparente à la consommation moyenne européenne de 200 à 300 kWh par mois, comparativement à la moyenne mensuelle canadienne d'entre 850 et 1 000 kWh. Pour la première fois, sa maison en région isolée est alimentée par une quantité d'électricité qui permet d'assurer un éclairage efficace et le fonctionnement d'appareils électroniques (comme un magnétoscope et de l'équipement stéréophonique),

de nombreux outils, ainsi qu'un réfrigérateur et un congélateur électriques.

Jumelé à d'autres technologies comme le chauffage au bois et la cuisson au propane, ce système fournit un haut niveau d'énergie propre et renouvelable sans avoir nécessité des ouvrages de génie civil d'envergure. L'entretien se résume au nettoyage de la prise d'eau. Il en coûterait aujourd'hui 7 500 \$ pour remplacer ce système.

Tableau 7. Microsystèmes hydroélectriques intégrés

Système	Puissance de sortie (W)	Hauteur de chute minimum/maximum (m)	Débit minimum/maximum (L/s)	Tension (V)	Type de turbine et de génératrice
Très faible hauteur de chute	De 200 à 1 000	1,5 (maximum)	35/130	110	À hélice; génératrice à c.a. à aimants permanents
Faible hauteur de chute	De 300 à 5 000	2/5	28/120	110	À hélice; génératrice asynchrone
Hauteur de chute moyenne	De 200 à 500	5/12	6/10	110	Turgo; génératrice à c.a. à aimants permanents
Hauteur de chute moyenne	De 600 à 2 000	8/17	20/30	110	Turgo; génératrice asynchrone
Hauteur de chute moyenne	De 300 à 5 500	12/34	5/28	110	Pelton; génératrice asynchrone
Hauteur de chute moyenne	De 5 000 à 8 000	24/34	33/40	110	Turgo; génératrice synchrone
Hauteur de chute moyenne	De 9 000 à 16 000	24/34	66/80	110	Turgo; génératrice synchrone
Hauteur de chute élevée	De 1 500 à 5 000	20/90	8/30	110	Turgo; génératrice synchrone ou asynchrone

4.2 Microsystèmes à courant alternatif

Les microsystèmes à courant alternatif (c.a.) ressemblent à ceux utilisés par les services publics pour alimenter les maisons en électricité dans les villages et les villes. Ils ne comportent aucun accumulateur; ils sont donc conçus pour alimenter directement les appareils qui consomment de l'électricité. Ce type de système convient aux sites connectés à un réseau, mais il peut aussi fonctionner comme système autonome.

Les systèmes à c.a. décrits au tableau 7 sont disponibles dans le commerce. Ils se vendent sous la forme de microsystèmes complets et intégrés, et sont



Figure 26. Système asynchrone à turbine Turgo à double jet, d'une puissance nominale de 5 kW

généralement beaucoup plus économiques que les systèmes faits sur mesure. Il existe des systèmes intégrés plus gros permettant d'exploiter de faibles hauteurs de chute.

Le plus petit système complètement intégré sur le marché a une capacité de 200 W et peut fonctionner

avec une dénivellation aussi faible que 1 m (3 pi). De nombreux systèmes plus gros sont fabriqués et assemblés conformément aux exigences du relief du site et de la capacité demandée. Consultez la section 3.2 pour la description de turbines.

Deuxième étude de cas :

Microsystème de 10 kW en région éloignée

(Information fournie par Scott Davis, de Yalakom Appropriate Technology [Colombie-Britannique])

Les peuplements des Premières nations établis le long de la vallée de la rivière Lillooet, dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, n'ont jamais été connectés au réseau électrique, en dépit de la présence de lignes haute tension à proximité.

L'eau provenant d'innombrables cours d'eau descend des montagnes jusqu'au fond de la vallée, sur une dénivellation totale de milliers de pieds. À environ 3 km du village de Skookumchuck, sur une petite parcelle de terre d'une réserve, vit la famille Peters. Cette famille utilisait des génératrices diesels pour répondre à ses besoins en électricité, mais au fil des ans, cette approche s'est avérée coûteuse et d'exploitation difficile.

Deux cours d'eau se prêtent à l'installation d'un microsystème hydroélectrique sur la propriété des Peters. Ils ont choisi celui qui est le plus gros et le plus près de la maison. Le site, abrupt et rocaillieux, se trouve à environ 90 m (300 pi) au-dessus du niveau de la maison. La construction du système s'est étalée sur une période de quelques mois. Un petit bassin de décantation a été aménagé à côté du ruisseau. Un opérateur d'excavatrice a dû travailler toute une journée pour creuser la tranchée de la conduite forcée et, en quelques jours, une équipe a installé les 275 m (900 pi) de conduite de 10 cm (4 po). Il a fallu un certain temps pour terminer l'installation de la prise d'eau, du massif d'ancrage et de la centrale.

Le système utilise une turbine Pelton à entraînement direct qui entraîne un alternateur de 12 kW. Le système est équipé d'un volant pour une capacité de surpression accrue, et d'un injecteur à aiguille permettant d'assurer un fonctionnement efficace sur une large gamme de débits. Le système produit habituellement



Figure 27. Exploitation d'un microsystème de 10 kW (photo – gracieuseté de Scott Davis, de Yalakom Appropriate Technology [Colombie-Britannique])

environ 10 kW à un débit de 22 L/s (350 gal/min). Il peut, même en utilisant beaucoup moins d'eau, bien alimenter en électricité les deux maisons qui y sont maintenant connectées.

Le système, géré par un régulateur de charge électronique de conception canadienne, fournit de bonnes quantités d'électricité pour l'éclairage et le fonctionnement d'appareils. Il sert aussi à faire fonctionner une pompe de puits, ce qui était impossible avec la génératrice diesel. De plus, il alimente les chauffe-eau électriques des deux maisons pendant toute l'année et assure une bonne part du chauffage des locaux durant l'hiver. On utilise le propane pour la cuisson.

L'entretien du système se limite à peu de choses à part le nettoyage occasionnel de la prise d'eau et au graissage des roulements. L'utilisation d'une prise d'eau immergée à grille en acier inoxydable s'est avérée satisfaisante pendant plusieurs années. Le système fonctionne bien depuis sa mise en service en 1998. Son remplacement coûterait aujourd'hui environ 25 000 \$, sans compter les coûts de main-d'œuvre.

4.3 Microsystèmes connectés au réseau

Il est tout à fait possible d'installer un microsystème hydroélectrique à un endroit près d'un réseau électrique ou déjà connecté au réseau, puis s'approvisionner en électricité à la fois du microsystème et du réseau. Vous pourriez même réduire à zéro votre facture d'électricité du service public en acheminant le surplus d'électricité du microsystème au réseau et en tirant profit de la facturation nette. Si vous désirez vendre votre électricité à la compagnie d'électricité ou à vos voisins, il faut tout d'abord vous conformer à certains règlements et obtenir certaines approbations.

Facturation nette

La facturation nette permet à un petit producteur d'électricité, telle une maison ou une ferme équipée d'un microsystème hydroélectrique ou d'un système éolien ou photovoltaïque, de se raccorder au réseau, dans le but de compenser l'électricité achetée auprès du fournisseur par le surplus d'électricité de la petite installation. La facturation nette élimine le besoin d'installer des génératrices d'appoint ou une batterie d'accumulateurs, ce qui serait coûteux, pour suppléer à un petit système d'énergie renouvelable. Un compteur unique mesure la quantité d'électricité tirée du réseau et fonctionne en sens inverse pour créditer le petit producteur de la quantité qu'il fournit au réseau. La lecture du compteur détermine la consommation d'électricité nette pour laquelle l'utilisateur sera facturé.

Des programmes de facturation nette sont à diverses étapes d'élaboration en Colombie-Britannique, en Alberta, au Manitoba et en Ontario. Chaque service public d'électricité possède sa propre politique de connexion au réseau. Pour de plus amples renseignements, communiquez avec le bureau de relations avec la clientèle de votre fournisseur local d'électricité.

Systèmes hybrides

Un système hybride combine deux sources ou plus d'électricité, par exemple un microsystème hydroélectrique, un système éolien ou photovoltaïque et une petite génératrice au diesel ou à essence. Un tel système présente plusieurs avantages par rapport à l'utilisation d'une seule source d'électricité. Il est possible d'en installer un qui réponde à vos besoins en énergie électrique. Les périodes optimales d'exploitation des systèmes éoliens et solaires surviennent à différents moments de la journée et de l'année; c'est pourquoi un système hybride est davantage en mesure de produire l'énergie électrique lorsque vous en avez besoin. La vitesse du vent est faible en été lorsque le soleil est le plus chaud et l'ensoleillement, à son maximum; les vents sont forts en hiver lorsque l'ensoleillement est moindre. Si vous y ajoutez un microsystème hydroélectrique, vous êtes en mesure d'avoir un système autonome fiable, car il s'agit d'un système d'appoint plus fiable, moins bruyant et moins coûteux à faire fonctionner qu'une génératrice diesel, même si le cours d'eau s'assèche en été.

5.0 Coûts liés au système

Combien coûte un microsystème hydroélectrique? Il n'existe pas de réponse standard à cette question, car les coûts dépendent des caractéristiques du site et de la quantité de travail que vous êtes prêt à faire vous-même. De manière générale, avec les technologies actuelles, le coût total peut varier de 1 500 \$ à 2 500 \$ par kilowatt de capacité installée, selon la capacité du système et son emplacement. Pour les systèmes d'une puissance inférieure à 5 kW, il en coûte environ 2 500 \$ ou plus du kW, en raison de la petite taille et du coût des composants additionnels comme la batterie d'accumulateurs et l'onduleur.

Les coûts liés au développement d'un microsystème hydroélectrique sont répartis dans deux catégories : coûts initiaux et coûts annuels. Les coûts initiaux – encourus au début du projet, avant que d'électricité soit produite – comprennent ceux relatifs à l'étude de faisabilité, à l'achat et à l'installation de l'équipement et à l'obtention des permis. Les coûts annuels récurrents concernent l'exploitation et l'entretien. En règle générale, les coûts initiaux d'un microsystème hydroélectrique sont élevés, mais les coûts annuels sont faibles comparativement à ceux des installations traditionnelles à combustible fossile. En fait, de toutes les technologies de production d'énergie, c'est l'hydroélectricité qui affiche les coûts d'entretien les plus bas. Les coûts d'entretien d'un système à faible débit et à hauteur de chute élevée sont inférieurs à ceux des systèmes à débit élevé et à faible hauteur de chute, car tous les composants des systèmes à faible débit (p. ex., conduite forcée, turbine, prise d'eau et déversoir) sont plus petits. Le coût total du système sera encore plus bas si certains composants, tels que le barrage ou la prise d'eau, sont déjà en place.

Le coût d'un système dépendra, entre autres, de l'équipement utilisé, de la quantité de matériaux et d'équipement nécessaires et du coût des travaux de génie civil à effectuer. Les coûts seront plus élevés si vous embauchez un entrepreneur pour construire une prise d'eau, un long canal d'amenée, une centrale et un canal de fuite, plutôt que de faire ces travaux vous-même. Chaque site hydroélectrique est unique, car environ 75 p. 100 du coût d'aménagement dépend du site et du relief. Environ 25 p. 100 seulement des coûts sont relativement fixes : ceux de l'équipement électromécanique.

5.1 Coûts initiaux

Au moment d'encourir les coûts initiaux, vous devriez avoir une bonne idée de la

configuration de base du système dont vous avez besoin. Vous obtiendrez les meilleurs renseignements auprès des fabricants et des fournisseurs, lesquels seront en mesure d'établir un prix total pour le système proposé. Il ne faut pas oublier de calculer tous les coûts : prise d'eau, canal d'amenée, bief d'amont, conduite forcée, centrale et équipement électromécanique, y compris la turbine, la génératrice, les régulateurs et le réseau de transport et de distribution (voir l'annexe D).

Si vous n'êtes pas propriétaire du terrain, il vous faudra ajouter son coût d'achat ou de location. Le cas échéant, les coûts de location doivent être compris dans les coûts annuels. Il faut également tenir compte des coûts « accessoires » : selon la taille et la complexité du système, ces coûts peuvent représenter un montant considérable à ajouter aux coûts initiaux. Les coûts accessoires sont notamment liés aux études de préfaisabilité et de faisabilité, à la demande de permis d'utilisation des eaux, à l'obtention des droits fonciers et des permis locaux, au transport et à la construction. Pour certains sites, il peut être nécessaire de transporter l'équipement par hélicoptère, ce qui peut coûter très cher s'il s'agit d'un endroit isolé. Vous devriez également réserver une petite fraction des coûts initiaux au règlement des frais imprévus. C'est une bonne idée de faire appel aux services d'un expert en énergie pour faire ces calculs à votre place, et les estimations de coûts devraient se faire à l'étape de l'étude de faisabilité. Pour ce qui est des systèmes plus petits, vous pourriez dresser une liste des composants et obtenir des prix en téléphonant aux fournisseurs et en consultant des catalogues et des listes de prix.

Tableau 8a. Coûts approximatifs d'un microsystème à accumulateurs

Composant	100 W (débit de 4 L/s [63 gal/min]; hauteur de chute de 5 m [16 pi])	400 W (débit de 4 L/s [63 gal/min]; hauteur de chute de 25 m [80 pi])
Conduite forcée	650 \$	1 000 \$
Turbine et génératrice	2 500 \$	2 500 \$
Régulateur	400 \$	400 \$
Accumulateurs	520 \$	1 000 \$
Onduleur	1 200 \$	3 000 \$
Ligne de transport	500 \$	500 \$
Centrale	200 \$	200 \$
Divers	500 \$	1,200 \$
Coût total de l'équipement	6 470 \$	9 800 \$
Installation	Optionnel (2 000 \$)	Optionnel (2 000 \$)

Estimation produite par Energy Alternatives Ltd.

Tableau 8b. Coûts approximatifs d'un microsystème à courant alternatif

Composant	3,5 kW (débit de 14 L/s [222 gal/min]; hauteur de chute de 50 m [165 pi])	10 kW (débit de 62 L/s [982 gal/min]; hauteur de chute de 32 m [100 pi])	50 kW (débit de 100 L/s [1 585 gal/min]; hauteur de chute de 85 m [280 pi])
Conduite forcée	1 600 \$	3 500 \$	24 000 \$
Turbine et génératrice	3 300 \$	6 000 \$	9 500 \$
Régulateur	1 900 \$	3 600 \$	5 400 \$
Ligne de transport	1 500 \$	3 500 \$	7 500 \$
Centrale	1 000 \$	3 000 \$	4 500 \$
Divers	1 650 \$	1 800 \$	4 500 \$
Coût total de l'équipement	10 950 \$	21 400 \$	55 400 \$
Installation	2 000 \$	4 500 \$	10 500 \$
Coût total	12 950 \$	25 900 \$	65 900 \$
Coût en \$/kW	3 700 \$	2 590 \$	1 318 \$

Estimation produite par Thompson and Howe Energy Systems Inc.

Le coût estimatif d'un système de 50 kW (voir le tableau 8b) est calculé en fonction d'une turbine-pompe; une turbine traditionnelle coûterait beaucoup plus cher. Sont exclus du calcul les coûts liés aux ouvrages de génie civil et à l'obtention des permis. Les coûts énoncés aux tableaux 8a et 8b sont tous approximatifs. Notez bien que chaque microsystème hydroélectrique est unique et que les coûts varient selon le site.

5.2 Coûts annuels

Les coûts annuels les plus importants d'un système hydroélectrique – quoiqu'ils soient très faibles – sont liés à l'exploitation et à l'entretien. Ces coûts comprennent la main-d'œuvre et le matériel nécessaires pour dégager la prise d'eau et la grille crapaudine, assurer l'entretien de l'équipement, acheter les pièces de remplacement et assurer l'entretien général et l'entretien de la ligne de transport. À ces coûts, il faut ajouter la location du terrain, les taxes foncières, les redevances d'utilisation de l'eau et les frais d'administration générale. Un fonds de prévoyance devrait être constitué afin de pourvoir à

des dépenses annuelles imprévues. S'il s'agit d'un système à accumulateurs, vous devriez inclure le coût de remplacement des accumulateurs tous les 5 à 10 ans, selon leur qualité et les cycles charge-décharge prévus.

5.3 Évaluation des coûts d'un système

Il faut tenir compte de plusieurs facteurs avant de décider si un microsystème hydroélectrique constitue une option souhaitable. Si le débit et la hauteur de chute d'un site sont suffisants pour répondre à vos besoins en puissance et en quantité d'énergie, le seul autre facteur à considérer est l'existence ou l'absence d'autres sources d'énergie utilisables et plus économiques. Vous avez peut-être l'option d'exploiter l'énergie solaire, l'énergie éolienne ou une génératrice diesel, ou encore de vous raccorder au réseau électrique local. Si de telles possibilités s'offrent à vous, il existe diverses manières de comparer avec précision le coût de produire de l'électricité à partir d'autres sources d'énergie.

Un indicateur du coût d'un système est le prix par kilowatt installé. Pour calculer ce prix, il faut diviser le coût initial total par la capacité du système, en kilowatts. Cette approche présente un inconvénient : comme les coûts d'exploitation sont exclus, elle ne permet pas de comparer de manière réaliste un microsystème hydroélectrique à d'autres options, comme les génératrices diesels et les éoliennes. Le coût de l'énergie produite en dollars par kilowatt-heure constitue un outil de comparaison plus précis. Le coût unitaire de l'énergie est calculé en fonction de la quantité d'énergie produite par le système au cours de sa durée de vie utile. Puisque la source d'énergie des microsystèmes hydroélectriques est à peu près gratuite, le système devient plus efficace s'il fonctionne la plupart du temps, car les coûts d'aménagement sont identiques, peu importe si on utilise 50 p. 100 ou 100 p. 100 de l'énergie disponible. Le prix unitaire de l'énergie variera considérablement selon le pourcentage du potentiel hydroélectrique qui sera exploité.

Parmi les méthodes d'analyse financière utilisées couramment pour évaluer des systèmes et comparer le coût de l'énergie produite par différentes sources, on compte les méthodes de la valeur actualisée nette (VAN) et de la période de récupération des coûts. La VAN d'un projet d'investissement égale la valeur actuelle (c.-à-d. escomptée pour tenir compte de la valeur décroissante de l'argent en raison de l'inflation) des rentrées de fonds futures moins la valeur actuelle de l'investissement et de toutes sorties de fonds futures (p. ex., démarrage, coûts d'exploitation) au cours de la vie utile du système. Il s'agit d'un calcul qui compare la valeur actuelle de l'argent et la valeur future de l'argent, après avoir pris en considération l'inflation et le rendement de l'investissement. Une VAN positive indique que le projet est intéressant.

Par la méthode de la période de récupération des coûts, on calcule plutôt le nombre d'années nécessaires pour que les économies d'énergie annuelles compensent les coûts initiaux et les coûts annuels du microsystème, c'est-à-dire le temps qu'il faudra pour recouvrer les coûts de votre investissement.

Ces analyses financières sont complexes. Elles peuvent intégrer des facteurs tels que la valeur de l'argent en fonction du temps, le coût complet sur le cycle de vie et les économies d'impôt. On pourrait choisir de ne pas entreprendre une analyse exhaustive pour un système plus petit, mais plus le système est gros, plus une analyse économique complète est utile. Si vous avez besoin de renseignements sur la manière de réaliser l'analyse, consultez la bibliographie à la fin de ce guide. Selon la taille et le coût du système, il peut être préférable de confier cette analyse à un professionnel d'expérience.

Les coûts et la rentabilité d'un projet sont étroitement liés à sa conception technique, à sa puissance et sa taille et par les facteurs hydrologiques. La valeur économique du système correspond aux avantages futurs qu'il pourra offrir ou aux coûts qu'il permettra d'éviter, coûts essentiellement liés aux substituts possibles de la microhydroélectricité. Dans la plupart des cas, il s'agit de l'utilisation d'une génératrice diesel ou de la connexion au réseau local. Dans beaucoup d'endroits isolés, on produit déjà de l'électricité à partir de carburant diesel; l'analyse économique se résume alors à comparer les coûts d'investissement et d'exploitation relatifs à un microsystème hydroélectrique, aux coûts de production d'énergie à partir du diesel ou aux coûts associés au raccordement au réseau local. Pour connaître d'autres facteurs possibles, consultez la section 1.3.

Si le microsystème hydroélectrique que vous envisagez est situé tout près du réseau, il peut être difficile d'en justifier l'utilité économique, à moins d'étudier la situation à long terme. Pour certaines personnes, l'idée d'être autonomes et autosuffisantes est attrayante, peu importe le coût que cela peut engendrer. Vous devriez également examiner divers programmes gouvernementaux afin de découvrir les sources d'énergie renouvelable qui font l'objet d'exemptions d'impôt pour le matériel et l'équipement et de connaître les incitatifs financiers disponibles.

6.0 Achat d'un microsysteme hydroélectrique

6.1 Conseils d'un expert

Les microsystemes hydroélectriques sont complexes; il faut tenir compte de beaucoup de facteurs, notamment la conception technique, l'obtention d'approbations et les aspects économiques. Vous devrez consulter un expert en énergie pour la conception et l'optimisation d'un systeme pour votre site. Bien que le dimensionnement des turbines et de la conduite forcée et la sélection d'une génératrice soient des questions techniques qui dépassent la portée du présent guide, des experts chevronnés en énergie seront en mesure de déterminer la puissance nécessaire et d'évaluer le relief de votre site afin de vous proposer la solution la plus appropriée à vos besoins énergétiques.

Le délai de conception des systemes plus petits, c.-à-d. de 5 kW ou moins, est en général inférieur à celui des systemes plus gros. On peut se procurer de petits systemes en tant qu'unités intégrées; dans ce cas, le fabricant et le fournisseur peuvent vous fournir des renseignements relatifs à la taille optimale de la conduite forcée, de la turbine et de la génératrice. Ces renseignements en main, vous serez peut-être en mesure d'effectuer vous-même les travaux de génie civil. Par contre, il est dans votre intérêt de demander de l'aide si n'importe lequel des aspects des microsystemes hydroélectriques ou du projet vous semble ambigu.

S'il s'agit d'un gros systeme, il est nécessaire de concevoir chaque composant et d'en déterminer la taille afin d'assurer une exploitation et un rendement optimaux. La conception optimum et le dimensionnement des travaux de génie civil, de la conduite forcée, de la turbine, de la génératrice, du réseau de transport et de distribution et du systeme de gestion de la charge sont importants non seulement aux fins de la fiabilité du systeme, mais aussi en ce qui concerne sa rentabilité, car le coût total y est directement lié. Dans le cas d'un systeme dont la puissance est supérieure à 5 kW, il faut retenir les services d'un expert d'expérience capable de trouver l'équipement qui convient le mieux à la conception de votre systeme, et qui sera en mesure de donner des conseils quant aux demandes d'approbations et de permis.

6.2 Choix d'un fournisseur

Les fabricants et les fournisseurs de systemes d'énergie renouvelable sont une source précieuse d'information. Ils peuvent vous aider à évaluer un site, à monter et à installer un systeme et à assurer son bon fonctionnement. Avant de communiquer avec des fabricants au sujet d'un site particulier, vous devriez premièrement connaître les valeurs approximatives de la hauteur de chute, des débits minimum et maximum et de la puissance que vous souhaitez produire. Malheureusement, contrairement aux autres secteurs d'énergie renouvelable au Canada, il n'existe aucune association nationale qui s'occupe des besoins des utilisateurs de microsystemes hydroélectriques.

Un fournisseur doit posséder une expérience reconnue dans la conception et l'installation du type de systeme dont vous avez besoin. Différents fournisseurs se spécialisent dans différents types de systemes. Quelques-uns fournissent seulement des turbines et d'autres, uniquement des régulateurs. On peut trouver de petites entreprises bien établies offrant des installations clé en main et une gamme complète de services, en commençant par l'étude de préféabilité. Sur le plan du rapport qualité-prix, ces entreprises sont probablement celles avec qui vous devriez faire affaire. Vous pouvez demander de consulter des catalogues et des listes de prix; beaucoup de catalogues renferment des renseignements utiles au sujet de la conception des systemes. Notons que l'équipement hydroélectrique de 1 à 5 kW peut sembler coûteux, mais sa durée de vie sera plus longue et il fonctionnera beaucoup mieux que les systemes artisanaux. Beaucoup de fabricants ont des sites Web utiles et il est possible d'obtenir d'autres renseignements sur Internet.

L'idéal, c'est de faire affaire avec un fournisseur ou un fabricant local, car il est alors plus facile de transporter l'équipement, d'avoir accès à des pièces de remplacement et d'obtenir des conseils. Assurez-vous de convenir d'un prix et de prendre connaissance de la garantie et des modalités avant d'acheter. En d'autres termes, magasinez.

6.3 Sécurité

L'installation et l'exploitation d'un microsystème hydroélectrique comportent beaucoup de risques de blessures sérieuses ou peuvent même causer la mort (par ex., tomber de la prise d'eau, être fauché par l'arbre en rotation ou être électrocuté). Il faut suivre rigoureusement les instructions de sécurité et les mises en garde du fabricant lors de la manipulation de tout équipement. Il est vraiment trop facile de penser que la sécurité est la responsabilité des autres; détrompez-vous, c'est votre responsabilité à vous. Peu importe les règlements et les systèmes mis en place, il vous appartient de les respecter.

Protection contre les dangers liés à l'électricité

Les microsystèmes hydroélectriques sont tous équipés d'un dispositif de commutation permettant d'isoler au besoin le groupe électrogène, de réguler le courant électrique et de protéger le système. Parmi les dispositifs de commutation courants, notons les sectionneurs, les commutateurs, les fusibles et les disjoncteurs. Le dispositif de commutation assure une protection contre les surcharges et les courts-circuits. Il est essentiel à la sécurité des personnes et de la propriété, et il ne faut pas le négliger, même lorsqu'il s'agit de systèmes à basse tension. Le système de production et la charge sont également protégés contre les surtensions, les sous-tensions, les surfréquences et les sous-fréquences. De plus, ces systèmes de protection sont interreliés pour arrêter automatiquement le débit d'eau à la turbine et la production d'énergie s'il survient un défaut de fonctionnement majeur.

On doit aussi installer un parafoudre si l'énergie produite par un microsystème est transmise de la centrale jusqu'à la charge au moyen d'une ligne de transport. En outre, cette ligne doit être protégée contre les foudroiements directs et indirects.

L'installation de la génératrice, des panneaux de commande et de tout autre équipement électrique doit être effectuée par une personne qualifiée et certifiée, et en conformité avec le *Code canadien de l'électricité*. Il faut mettre à la terre tout l'équipement électrique afin d'assurer une protection contre les chocs électriques découlant d'une fuite électrique ou d'un câblage défectueux. Le câblage et la mise à la terre doivent être réalisés conformément aux normes nationales et faire l'objet d'essais exhaustifs. Les disjoncteurs de fuite à la terre couramment utilisés dans les maisons coupent le courant en cas de défécuosité, par exemple si des pièces métalliques de l'équipement sont mises sous tension ou s'il y a fuite vers la terre en raison d'un isolant défectueux. Il faut protéger la turbine et tout l'équipement mécanique mobile à l'aide d'un dispositif de protection approprié et vérifier ce dispositif avant de démarrer la turbine.

7.0 Installation, exploitation et entretien

7.1 Construction et installation

L'étape de la construction du projet est la plus coûteuse. Avant de l'entamer, assurez-vous d'avoir réglé tous les détails, y compris le coût final du système, le permis d'utilisation des eaux, l'approbation d'utilisation du terrain et les autres permis locaux.

Vous pouvez choisir, selon la taille du système, d'exécuter vous-même la plus grande partie des travaux ou de retenir les services d'un entrepreneur. La construction et l'installation d'un microsystème hydroélectrique nécessitent l'exécution de travaux de génie civil, des compétences en mécanique et en électricité et de l'expérience dans la manipulation d'objets lourds. Vous devrez posséder ces compétences si vous voulez construire la prise d'eau et le canal d'amenée, installer et aligner la conduite forcée, la turbine et la génératrice, construire la centrale et installer la ligne de transport.



Figure 28. Construction de la centrale d'un système de 12 kW (photo – gracieuse de Thomson and Howe Energy Systems Inc.)

La période de l'année consacrée à la construction d'un système peut influencer sur la qualité et la rapidité d'exécution des travaux. De novembre à mars, la construction est ralentie dans presque tout le Canada par la pluie et la neige abondantes et les températures sous le point de congélation. De plus, le nombre d'heures d'ensoleillement est moins élevé en hiver. L'accès à des lieux isolés peut alors être difficile. La planification constitue la clé du succès

pour une installation peu coûteuse. Il faut s'assurer que l'équipement et les matériaux seront tous livrés à temps, et être conscient que leur coût peut être inférieur à celui de la main-d'œuvre. Le fait d'effectuer soi-même certains travaux normalement exécutés par des personnes non qualifiées et de travailler conjointement avec un entrepreneur pendant la construction peut réduire considérablement les coûts de main-d'œuvre et vous permettre d'acquérir une expérience inestimable relativement à tous les aspects de la construction. Après tout, une fois la construction terminée et le système en exploitation, vous devrez en assurer le fonctionnement et l'entretien.

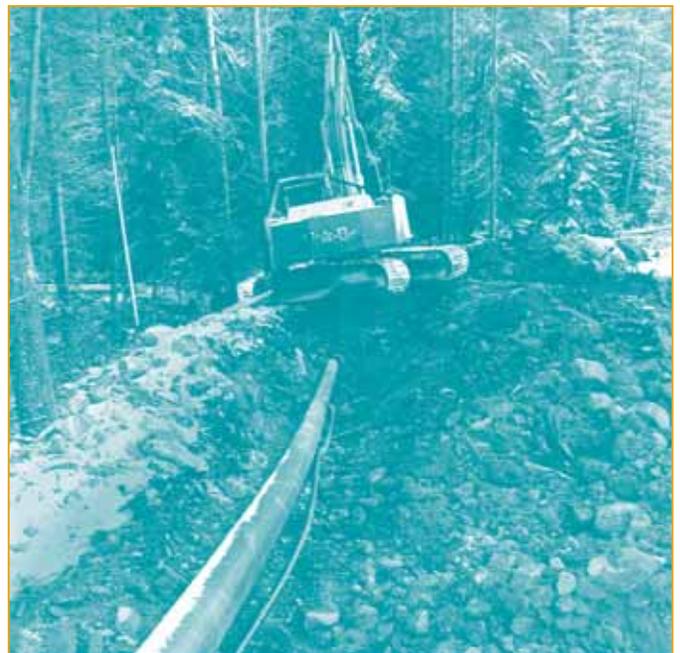


Figure 29. Enfouissement d'une conduite forcée de 20 cm (8 po) (photo – gracieuse de Thomson and Howe Energy Systems Inc.)

Si vous décidez de construire un système vous-même, sachez que l'installation des petits systèmes à accumulateurs est à la portée de beaucoup de personnes lorsqu'elles bénéficient des conseils du fabricant. Par contre, il est préférable de consulter des experts pour l'installation d'un gros système.

7.2 Mise en service et mise à l'essai

La dernière étape importante de l'installation d'un microsystème hydroélectrique comprend des essais qui servent à vérifier le rendement de chaque composant pour en assurer le bon fonctionnement et à évaluer le rendement global du système afin de

vérifier s'il est conforme aux spécifications et aux paramètres de conception. Au cours du processus de mise en service, par exemple, on vérifiera non seulement la quantité d'eau qui franchit la prise d'eau, mais également le dispositif de protection contre les surcharges de la génératrice. Les essais comprennent : la mesure de la production totale d'électricité au débit de conception; des essais de pression de la conduite forcée; la recherche de fuites dans la conduite forcée; des essais de la turbine en conditions de vitesse nominale et de survitesse; des essais du dispositif de protection contre les surtensions, les sous-tensions, les surfréquences et les sous-fréquences; la détermination du délai de réponse du régulateur de charge électronique aux variations de charge; et la détermination du comportement des dispositifs de sécurité automatiques dans des conditions anormales, comme les courts-circuits et les arrêts d'urgence. Tous les composants doivent faire l'objet d'essais exhaustifs. Il peut être nécessaire de répéter plusieurs fois les essais pour s'assurer que les dispositifs de sécurité sont bien réglés.

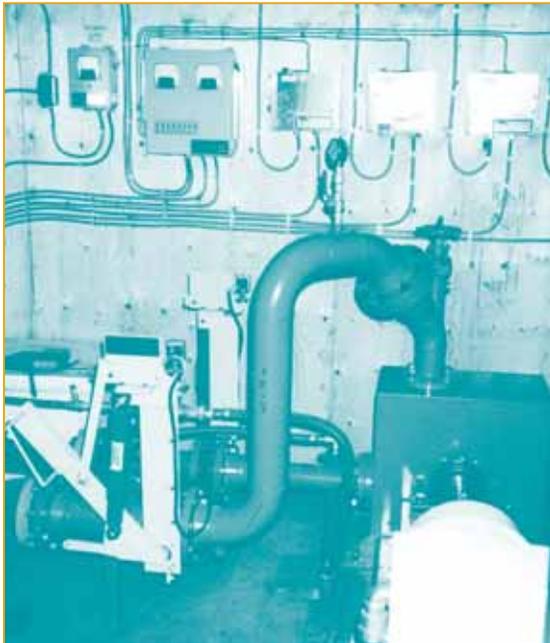


Figure 30. Équipement à l'intérieur d'une centrale (photo – gracieuseté de Thomson and Howe Energy Systems Inc.)

La procédure de mise en service devient beaucoup plus complexe au fur et à mesure que la capacité du système augmente. Pour ce qui est des gros systèmes, la mise en service devrait être effectuée en collaboration avec un expert en microsystèmes hydroélectriques.

7.3 Exploitation et entretien

En général, l'exploitation et l'entretien des microsystèmes requièrent peu de temps. Il peut s'avérer nécessaire, dans des cas extrêmes, de vérifier quotidiennement le système afin de s'assurer que la prise d'eau n'est pas obstruée et que le système est en bon état de fonctionnement. On procède normalement à des inspections hebdomadaires ou mensuelles. Selon la conception du système, vous pourriez devoir régler occasionnellement la vanne de la prise d'eau, les injecteurs ou les aubes directrices pour faire correspondre le débit d'eau dans la turbine à la quantité d'électricité consommée, ou pour conserver l'eau du cours d'eau, tout particulièrement lors de la saison sèche. Il faut effectuer un entretien mensuel plus exhaustif, comme graisser l'équipement et les roulements, serrer les courroies et, dans le cas des systèmes à accumulateurs, vérifier le niveau de liquide dans les cellules.

En outre, il peut être nécessaire de débarrasser les ouvrages du limon, des plantes et de tout autre objet qui s'y trouvent, de colmater les fuites et de faire les réparations qui s'imposent pour éviter la détérioration du système. Généralement, on effectue ces tâches environ une fois par année ou au besoin. Le fabricant fournira habituellement des renseignements détaillés sur les mesures à prendre et le calendrier d'entretien. Si possible, vous devriez saisir l'occasion d'acquérir une formation appropriée pendant la réalisation du projet. Il est plus rentable et plus judicieux de mettre en pratique les principes d'entretien préventif plutôt que de réagir à un bris de système. Un microsystème hydroélectrique bien entretenu peut fournir une alimentation électrique ininterrompue pendant plusieurs années.



Figure 31. Ouvrage de dérivation et grille dans le ruisseau Morehead (Colombie-Britannique) (photo – gracieuseté de Thomson and Howe Energy Systems Inc.)

8.0 Autres renseignements

Division de l'énergie renouvelable et électrique

Direction des ressources en électricité

Ressources naturelles Canada

580, rue Booth, 17^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Télécopieur : (613) 995-0087
Site Web : www.dere.rncan.gc.ca

Technologies des énergies renouvelables

Centre de la technologie de l'énergie de

CANMET – Ottawa

Ressources naturelles Canada

580, rue Booth, 13^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Télécopieur : (613) 996-9416
Sites Web :

- Centre de la technologie de l'énergie de CANMET (CTEC) : www.rncan.gc.ca/se/etb
- Réseau canadien des énergies renouvelables : www.rescer.gc.ca
- International Small-Hydro Atlas : www.small-hydro.com

Pour commander d'autres exemplaires de la présente publication ou pour commander d'autres publications gratuites sur l'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique, composez sans frais le 1 800 387-2000. Vous pouvez également obtenir un exemplaire de cette publication en visitant le site Web du Réseau canadien des énergies renouvelables (ResCER) de Ressources naturelles Canada, à l'adresse www.rescer.gc.ca.

Logiciel gratuit sur les microsyntèmes hydroélectriques

RETSscreen® International est un logiciel normalisé d'analyse de projets d'énergies renouvelables qui vous aidera à déterminer si un microsyntème hydroélectrique constitue un bon investissement pour vous. Le logiciel utilise des chiffriers Microsoft Excel et comporte un manuel d'utilisation détaillé et des bases de données sur les produits pour vous aider dans votre évaluation. Vous pouvez télécharger gratuitement le logiciel et le manuel à partir du site Web www.retscreen.net; vous pouvez aussi vous les procurer auprès de Ressources naturelles Canada, par téléphone au (450) 652-4621 ou par télécopieur au (450) 652-5177.

Fabricants et fournisseurs

Consultez le site Web du Réseau canadien des énergies renouvelables, à l'adresse www.rescer.gc.ca, pour obtenir une liste des fabricants et des fournisseurs de microsyntèmes hydroélectriques.

Annexe A

Détermination de la hauteur de chute et du débit

Mesure de la hauteur de chute

La hauteur de chute est la distance verticale, en mètres ou en pieds, entre le niveau du bief d'amont ou de la prise d'eau et le niveau de la turbine. On croit souvent que la détermination de la hauteur de chute est une tâche qui devrait être confiée à un arpenteur, mais il est possible, dans le cas de nombreux systèmes, d'utiliser des méthodes beaucoup plus rapides et moins coûteuses pour le faire de façon préliminaire. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la hauteur de chute disponible, notamment les cartes, le manomètre, le niveau à lunette fixe et le théodolite, l'inclinomètre, le tube d'eau et la tige, et l'altimètre.

Certaines méthodes se prêtent davantage à la mesure de faibles hauteurs de chute, alors que leur utilisation est trop fastidieuse et imprécise pour déterminer des hauteurs de chute élevées. Dans la mesure du possible, il est souhaitable d'effectuer plusieurs déterminations distinctes à chaque site. Il est préférable de ne pas quitter les lieux avant d'avoir analysé les résultats; il sera plus facile de corriger toute erreur sur place. On doit mesurer la hauteur de chute avec précision, car il s'agit d'un des facteurs les plus importants à considérer lors de la

conception et de l'établissement des coûts d'un système hydroélectrique. On devrait utiliser l'emplacement prévu de la centrale et de la prise d'eau de la conduite forcée comme points de référence pour mesurer la hauteur de chute. Plusieurs méthodes de mesure de la hauteur de chute sont expliquées brièvement ci-après (adaptation de *Micro-Hydro Design Manual: A Guide to Small-Scale Water Power Schemes*).

Cartes

Les cartes topographiques détaillées sont utiles pour déterminer les sites possibles et pour obtenir une estimation approximative de la hauteur de chute à l'emplacement prévu de la prise d'eau et du canal de fuite, de la longueur des conduites, de la taille du bassin versant et de l'origine et de la destination du cours d'eau. Par contre, ces cartes ne sont pas toujours disponibles ou très fiables. Les cartes à l'échelle de 1/50 000 sont utiles pour des hauteurs de chute de plus de 100 m (330 pi). On utilise habituellement des cartes à plus petite échelle, ce qui est préférable, car elles présentent une plus grande résolution du relief, par exemple 10 m (environ 30 pi). Vous pouvez obtenir des cartes topographiques auprès de Ressources naturelles Canada, en consultant le site Web cartes.mnca.gc.ca; le ministère responsable des ressources naturelles, des sols et des eaux de votre province ou territoire, ou votre bureau forestier local, offre peut-être des cartes plus détaillées, à l'échelle de 1/10 000 ou de 1/20 000.

Manomètre

On peut utiliser la méthode du manomètre pour déterminer des hauteurs de chute élevées ou faibles. Le choix du manomètre varie selon la hauteur de chute à mesurer; un tuyau en plastique transparent de 20 m (65 pi) de longueur peut servir au calcul d'une hauteur de chute d'environ 60 m (200 pi). Parmi les méthodes simples, celle du manomètre est sans doute la meilleure. On y mesure la pression statique de l'eau à l'aide du manomètre, pour ensuite convertir cette valeur en hauteur de chute. Une colonne d'eau de 1 m de hauteur exerce une pression de 9,8 kilopascals (kPa), soit 1,42 livre par pouce carré (lb/po²). Pour obtenir la hauteur en pieds, multipliez la pression en lb/po² par 2,31 (p. ex., 100 lb/po² = 100 × 2,31 = 231 pi).

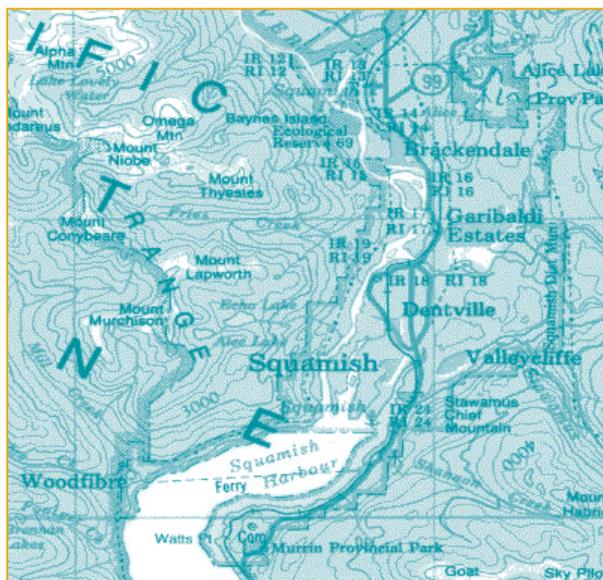


Figure 32. Carte topographique de Squamish (Colombie-Britannique)

Inclinomètre

Un niveau de poche appelé inclinomètre ou niveau d'Abney (voir la figure 33), permet de mesurer l'angle d'inclinaison d'une pente. Entre les mains d'un opérateur d'expérience, cet instrument permet d'obtenir une mesure précise, mais il est toujours mieux de prendre une deuxième mesure. L'inclinomètre est un instrument compact qui est parfois équipé d'un télémètre, ce qui évite d'avoir à mesurer la distance linéaire.

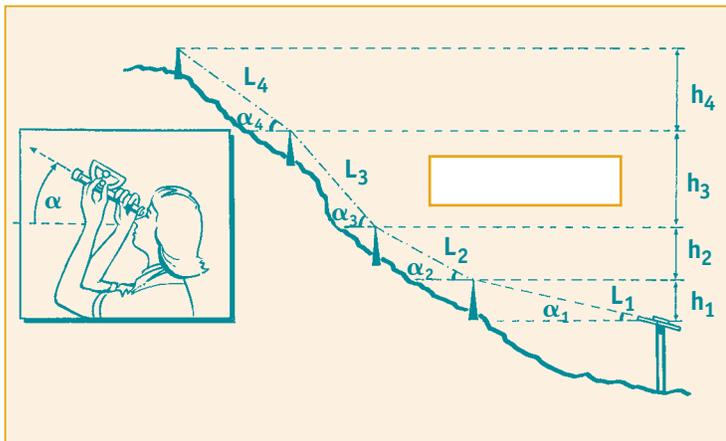


Figure 33. Mesure de la hauteur de chute à l'aide d'un niveau d'Abney

Niveau à lunette fixe et théodolite

Le niveau à lunette fixe est l'outil le plus couramment utilisé pour déterminer la hauteur de chute. La mesure devrait être faite par un opérateur d'expérience pouvant vérifier l'étalonnage du niveau. À l'aide d'un niveau à lunette fixe, l'opérateur, qui ne doit pas avoir la vue obstruée, procède à une visée horizontale d'une mire tenue par un collègue. Un théodolite permet de mesurer les angles dans les plans vertical et horizontal.

L'hypsomètre, un instrument semblable à un théodolite, est utilisé par les forestiers de terrain pour mesurer la hauteur des arbres; cet instrument peut être adapté à la mesure de la hauteur de chute. L'opérateur doit alors être accompagné d'un assistant qui manipule un dispositif réfléchissant; encore ici, l'opérateur ne doit pas avoir la vue obstruée. L'hypsomètre permet de mesurer électroniquement la distance linéaire et la pente de ligne avec l'horizontale. Lorsqu'on l'utilise correctement, l'instrument donne une mesure passablement précise.

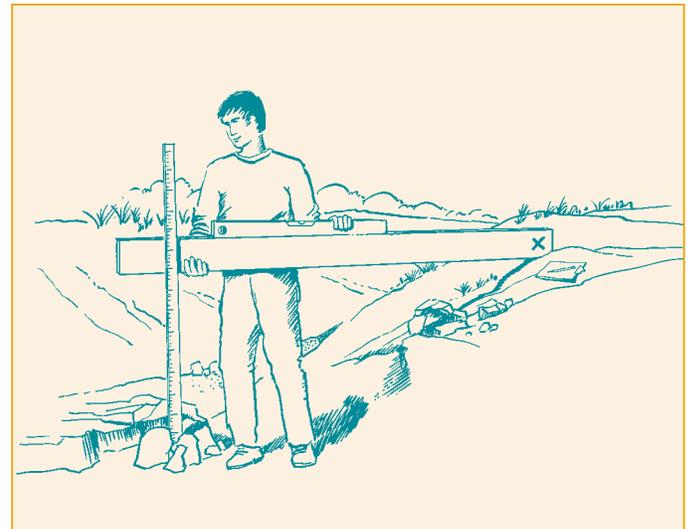


Figure 34. Mesure de la hauteur de chute à l'aide d'un niveau à lunette fixe

Tube d'eau et tige

Cette méthode convient aux sites à faible hauteur de chute. Elle est fiable, raisonnablement précise et peu coûteuse. On doit prendre deux ou trois mesures distinctes afin de s'assurer que les résultats sont uniformes et fiables. Les résultats obtenus au moyen de cette méthode doivent être comparés à ceux obtenus à l'aide d'une autre méthode, comme celle du manomètre. Si la pente est abrupte, on peut utiliser un niveau à bulle et une planche de bois droite à la place d'un tube d'eau et d'une tige (voir la figure 34).

Altimètre

Un altimètre peut être utile lors des études de pré-faisabilité portant sur des sites à hauteur de chute élevée. Il faut tenir compte des fluctuations de pression atmosphérique. En général, on ne recommande pas d'utiliser cette méthode, sauf pour obtenir une mesure approximative. Il est conseillé de prendre les mesures vers midi, car c'est à ce moment de la journée que les conditions atmosphériques fluctuent le moins. Les nouveaux altimètres numériques sont plus faciles à utiliser que les altimètres traditionnels. L'altimètre mesure la pression atmosphérique; chaque variation de 9 mm dans sa colonne de mercure correspond à une différence de niveau de 100 m.

Mesure du débit

Données sur le débit

Mesure de la quantité d'eau qui s'écoule dans un ruisseau ou une rivière, le débit peut varier grandement au cours d'une journée, d'une semaine, d'un mois ou d'une année. Afin d'évaluer convenablement la puissance continue minimale prévue d'un microsystème hydroélectrique, il faut déterminer la quantité d'eau minimale disponible. Pour prévoir la variation de débit durant l'année, on procède à une étude hydrologique. Il est important de connaître le débit moyen ainsi que les débits maximum et minimum en période de crue et d'étiage.

Les facteurs environnementaux et climatiques et les activités humaines menées dans le bassin versant déterminent l'importance et les caractéristiques du débit d'une journée à l'autre et d'une saison à l'autre. De façon générale, à moins que vous n'envisagiez l'aménagement d'un réservoir de retenue, vous devriez, lors de la conception du système, utiliser le débit annuel moyen le plus bas.

Certaines lois peuvent imposer des restrictions sur la quantité d'eau pouvant être tirée d'un cours d'eau à certaines périodes de l'année; dans ce cas, vous devriez utiliser cette valeur pour la conception du système. La proportion du débit maximal pouvant être utilisée pour la production d'électricité est établie lors du processus d'approbation, par le gouvernement, du permis d'utilisation des eaux. En général, il faut laisser 10 p. 100 du débit annuel moyen dans les cours d'eau contenant des poissons, mais cette proportion pourrait être réduite jusqu'à 5 p. 100 dans les cours d'eau qui n'en contiennent pas. Le débit annuel moyen peut également différer selon que le cours d'eau se jette dans l'océan ou que, en région plus froide, il soit alimenté par la neige et les crues nivales. Il n'y a parfois aucune exigence en matière de débit dans le cas de bassins versants non classés. La plupart des microsystèmes hydroélectriques ne doivent utiliser qu'une fraction du débit disponible du cours d'eau.

Dans la mesure du possible, il faut obtenir des données sur le débit d'eau tous les jours et les consigner pendant au moins un an, et idéalement pendant deux ou trois ans. Sinon, il faut effectuer quelques mesures au cours de la période d'étiage.

Si vous connaissez bien le cours d'eau, vous pouvez déterminer la période d'étiage en notant les niveaux d'eau et en effectuant plusieurs mesures du débit sur une période de plus d'une semaine, lorsque le niveau d'eau est à son plus bas au cours de l'année. Vous pouvez également recueillir de l'information auprès des voisins ou en consultant d'autres sources.

Vous pouvez peut-être obtenir des données sur le débit quotidien à votre site auprès du service responsable de la gestion de l'eau de votre province ou auprès d'Environnement Canada (EC). Par contre, la plupart des microsystèmes hydroélectriques sont aménagés dans de petits ruisseaux dont le débit n'a pas été mesuré par EC. Pour utiliser les données correspondant à un autre cours d'eau, multipliez les données sur le débit dans cet autre cours d'eau par le rapport entre la superficie du bassin versant alimentant le cours d'eau à votre site et la superficie du bassin versant alimentant cet autre cours d'eau. Ce rapport ne doit être ni supérieur à 1,2 ni inférieur à 0,8.

$$\frac{\text{superficie du bassin à débit non mesuré (votre site)}}{\text{superficie du bassin à débit mesuré (site d'EC)}} \times \begin{matrix} \text{débit} \\ \text{quotidien} \\ \text{(site d'EC)} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{débit} \\ \text{quotidien} \\ \text{(votre site)} \end{matrix}$$

Pour déterminer la superficie du bassin versant alimentant le cours d'eau à votre site, consultez les sites Web ci-après. Vous pourrez y visualiser des cartes topographiques à 1/50 000 et obtenir de l'aide pour délimiter le bassin versant.

- cartes.rncan.gc.ca
- www.nh.nrcs.usda.gov/technical/WS_delineation.html

Méthodes de mesure du débit

Il existe une variété de techniques pour mesurer le débit; les plus courantes sont les suivantes (pour de plus amples renseignements sur ces méthodes, consultez la bibliographie) :

- méthode du contenant;
- méthode des objets flottants;
- méthode du déversoir;
- méthode du sel et du conductivimètre;
- méthode du courantomètre.

Méthode du contenant

On se sert couramment de la méthode du contenant pour calculer le débit de très petits cours d'eau. Il s'agit de dériver complètement, grâce à un petit déversoir, toute l'eau du cours d'eau dans un contenant, tel un seau ou un baril, et de noter le temps requis pour remplir le contenant. La vitesse à laquelle le contenant se remplit est une mesure du débit, que l'on calcule en divisant le volume du contenant par le temps nécessaire au remplissage. Pour mesurer un débit inférieur ou égal à 20 L/s, on peut utiliser un contenant de 200 L, comme un baril à pétrole.



Figure 35. Mesure du débit à l'aide d'un contenant

Méthode des objets flottants

Pour mesurer le débit d'un cours d'eau plus gros dans lequel il ne serait guère pratique de construire un déversoir, ou encore pour évaluer rapidement le débit, on peut utiliser la méthode des objets flottants. Comme toutes les méthodes axées sur le produit vitesse-section, celle-ci repose sur le principe que le débit (Q) est égal à la vitesse moyenne (V_{moy}) d'écoulement multipliée par la surface de la section mouillée (A) :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times V_{\text{moy}} \text{ (m/s)}$$

Une façon d'appliquer ce principe consiste à déterminer le profil de la section mouillée du cours d'eau, puis de calculer une valeur moyenne pour la section mouillée sur une longueur donnée du cours d'eau. On mesure ensuite le temps que prennent une série d'objets flottants, par exemple des morceaux de

bois, à parcourir cette longueur. On calcule la moyenne des résultats pour établir la vitesse du courant. Il faut ensuite appliquer un facteur de correction à cette vitesse moyenne, puisqu'elle est la vitesse à la surface, afin d'obtenir la vitesse moyenne de toute la masse d'eau. En multipliant cette vitesse moyenne corrigée du courant, on obtient une estimation du débit volumétrique. Cette méthode donne seulement une valeur approximative du débit.

Voici les facteurs approximatifs à appliquer pour corriger la vitesse mesurée à la surface :

Canal en béton, section rectangulaire, surface lisse	0,85
Gros cours d'eau, lent et dégagé	0,75
Petit cours d'eau, lent et dégagé	0,65
Cours d'eau peu profond [moins de 0,5 m (1,5 pi)], turbulent	0,45
Cours d'eau rocailleux, très peu profond	0,25

Méthode du déversoir

Un déversoir est un petit barrage aménagé en travers d'un cours d'eau qui comporte, lorsqu'il est conçu pour mesurer le débit, une ouverture par laquelle s'écoule toute l'eau du cours d'eau. On peut déterminer le débit à partir d'une mesure de la différence de hauteur entre le niveau d'eau en amont et la partie inférieure de l'ouverture. Afin d'obtenir des résultats fiables, la crête du déversoir doit toujours être mince et il faut empêcher l'accumulation de sédiments à l'arrière de celui-ci.

Un déversoir peut être fait de bois d'œuvre, de béton ou de métal mais doit toujours être disposé à angle droit par rapport à la direction du courant. Il devrait être aménagé dans une section droite et exempte de remous du cours d'eau. Il faut évaluer approximativement la plage des débits à mesurer avant de concevoir le déversoir afin de s'assurer que l'ouverture sera assez grande pour laisser passer toute l'eau qui s'écoule. Les déversoirs à ouverture rectangulaire conviennent mieux lorsque le débit est important (de l'ordre de 1 000 L/s), tandis que les déversoirs à ouverture triangulaire sont plus appropriés lorsque le débit est plus faible et varie beaucoup. Il existe des déversoirs mixtes à ouverture triangulaire-rectangulaire qui permettent de mesurer les débits élevés et les débits faibles; dans ce dernier cas, l'eau s'écoule par une ouverture en V.

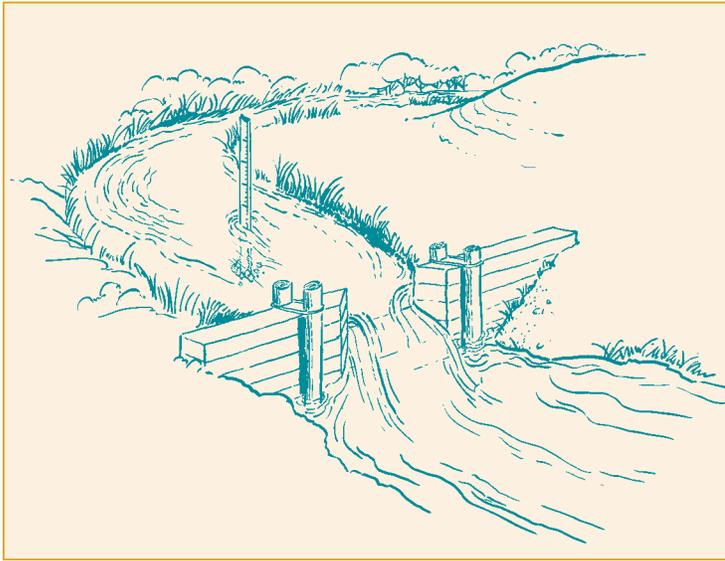


Figure 36. Mesure du débit à l'aide d'un déversoir

Méthode du sel et du conductivimètre

La méthode du sel et du conductivimètre permet de mesurer le débit très rapidement, facilement et de manière passablement précise et fiable dans une vaste gamme de cours d'eau. Dans des cours d'eau turbulents, cette méthode donne de meilleurs résultats que ne le font d'autres méthodes. L'élément principal est le conductivimètre. Le calcul exige un peu plus de temps s'il est réalisé manuellement; par contre, il peut être effectué automatiquement à l'aide d'un conductivimètre intégrateur qui donnera une mesure en litres par seconde.

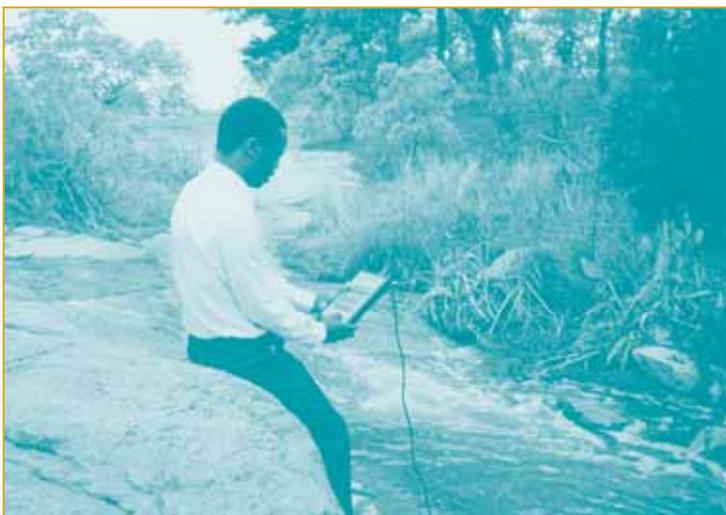


Figure 37. Mesure du débit à l'aide d'un conductivimètre intégrateur (photo – gracieuseté de Dulas Engineering Ltd.)

Pour effectuer la mesure, on verse un seau d'eau fortement salée dans le cours d'eau. Le nuage d'eau salée commence à se disperser dans l'eau en se déplaçant vers l'aval. À un certain moment, il occupe toute la largeur du cours d'eau. Le nuage comporte alors une section avant pauvre en sel, une section centrale riche en sel et une section arrière pauvre en sel. La salinité de l'eau est mesurée au moyen d'un conductivimètre. Le sel ne se dissout pas beaucoup si le débit est lent; la conductivité du nuage est alors élevée. Ainsi, de faibles débits sont caractérisés par une conductivité élevée et des débits élevés par une faible conductivité, c'est-à-dire que le débit est inversement proportionnel à la conductivité. Plus le débit est lent, plus le nuage met du temps à passer à l'endroit où se trouve le conductivimètre. Ainsi, le débit est, lui aussi, inversement proportionnel à la vitesse à laquelle se déplace le nuage.

On recommande d'utiliser environ 100 g de sel par tranche de 100 L/s de débit. Comme pour toutes les méthodes, il faut prendre les mesures au moins deux fois pour s'assurer qu'elles sont précises.

Méthode du courantomètre

Un courantomètre consiste essentiellement en une tige munie d'une hélice ou d'une roue à godets à son extrémité. Lorsqu'elle est immergée, la partie mobile de l'extrémité tourne à une vitesse qui dépend de la vitesse du courant. Un compte-tours enregistre le nombre de tours effectués par l'extrémité, qui est placée à une profondeur déterminée (indiquée par un repère sur la tige). La vitesse moyenne du courant correspond à la moyenne des vitesses mesurées en des points répartis uniformément dans la section mouillée. On se sert d'une formule reliant la vitesse de rotation de l'extrémité à la vitesse du courant; la formule est fournie avec le courantomètre.

Annexe B

Exemple de fiche de données

Nom du projet : _____

A. Caractéristiques du cours d'eau

1. Emplacement : _____
2. Débit disponible : _____ L/s
3. Débit de conception : _____ L/s
4. Hauteur de chute brute (statique) : _____ m
5. Longueur de la conduite forcée : _____ m
6. Diamètre de la conduite forcée : _____ m
7. Y a-t-il déjà une prise d'eau? Oui Non

B. Caractéristiques électriques

8. Tension requise : _____ V (c.a./c.c.)
 9. Fréquence : _____ Hz
 10. Nombre de phases : _____
 11. Puissance de sortie prévue : _____ kW
 12. Longueur de la ligne de transport : _____ m
 13. Méthode de contrôle souhaitée : Automatique Manuelle
- Besoins en électricité : _____
- _____
- _____
- _____

C. Personne-ressource

Nom : _____

Adresse : _____

Ville : _____

Province/territoire : _____

Code postal : _____ Téléphone : _____

Télécopieur : _____ Courriel : _____

Annexe C

Charges typiques des électroménagers

Électroménager	Puissance nominale (W)	Moyenne d'heures d'utilisation par mois	Consommation mensuelle (kWh)
Cuisine			
Mélangeur	350	3	1
Cafetière	900	12	11
Friteuse	1 500	8	12
Lave-vaisselle*	1 300	20	26
Hotte	250	30	8
Bouilloire électrique	1 500	10	15
Congélateur (15 pi ³)	350	240	84
Plaque chauffante (un élément)	1 250	14	18
Four à micro-ondes (0,5 pi ³)	900	10	9
Four à micro-ondes (0,8 à 1,5 pi ³)	1 500	10	15
Malaxeur	175	6	1
Cuisinière	4 000	25	100
Cuisinière et four	3 500	25	90
Réfrigérateur-congélateur			
Dégivrage automatique (17 pi ³)	500	300	150
Dégivrage manuel (11,5 pi ³)	300	300	90
Grille-pain	1 200	4	5
Lessive			
Sècheuse (35 brassées/mois)	5 000	28	140
Laveuse* (33 brassées/mois)	500	26	13
Laveuse à chargement frontal*	160	26	4
Fer à repasser	1 000	12	12
Chauffe-eau électrique			
Famille de 2 personnes	3 800	80	304
Famille de 4 personnes	3 800	140	532
Confort et santé			
Climatiseur	750	74	56
Couverture électrique	180	80	14
Chauffage électrique	1 000	250	250
Ventilateur (portatif)	120	6	1

*Excluant l'eau chaude

Électroménager	Puissance nominale (W)	Moyenne d'heures d'utilisation par mois	Consommation mensuelle (kWh)
Séchoir à cheveux (à main)	1 000	5	5
Éclairage			
Ampoule à incandescence (60 W)	60	120	7
Ampoule à incandescence (100 W)	100	90	9
Lampe fluorescente (4 pi)	50	240	12
Lampe fluorescente compacte (24 W)	24	240	6
Radiateur électrique portable	1 000	350	350
Téléphone portable	3	720	2
Répondeur	6	720	4
Loisirs			
Ordinateur (de bureau)	250	240	60
Ordinateur (portatif)	30	240	7
Chargeur d'ordinateur portatif	100	240	24
Imprimante laser	600	60	36
Radio	5	120	1
Chaîne stéréophonique	120	120	14
Téléviseur (couleur)	100	125	13
Téléviseur (noir et blanc)	60	120	7
Magnétoscope à cassettes	40	100	4
Extérieur			
Chauffe-bloc	600	120	72
Tondeuse	1 000	10	10
Outils			
Perceuse ¼ po	250	4	1
Scie circulaire	1 000	6	6
Scie circulaire à table	1 000	4	4
Tour	460	2	1
Autres			
Horloge	2	720	1
Machine à coudre	100	10	1
Aspirateur	800	10	8
Pompe à eau (½ CV)	1 000	44	44

Annexe D

Fiche d'estimation des coûts

Coûts initiaux	Nombre d'unités	Coût par unité	Coût total (\$)
Ouvrages de génie civil			
Prise d'eau			
Canal d'amenée			
Bief d'amont			
Conduite forcée			
Centrale et canal de fuite			
Coût total des ouvrages de génie civil			
Équipement électromécanique			
Ensemble turbine-génératrice			
Régulateur			
Dispositifs de commutation			
Câbles et appareillage de la ligne de transport			
Poteaux de la ligne de transport			
Batteries d'accumulateurs et onduleur*			
Coût total de l'équipement électromécanique			
Coûts de planification et de mise en œuvre			
Étude de pré faisabilité			
Étude de faisabilité			
Permis et approbations			
Ingénierie			
Transport			
Construction et installation			
Frais imprévus			
Total des coûts de planification et de mise en œuvre			
Total des coûts initiaux			
Coûts annuels			
Exploitation et entretien			
Pièces de rechange			
Redevances d'utilisation de l'eau		Annuel	
Location du terrain		Annuel	
Divers			
Total des coûts annuels			

* Seulement pour les micro-systèmes à accumulateurs

Glossaire et abréviations

Termes

Au fil de l'eau : Désigne les systèmes hydroélectriques dont le débit d'eau utilisé n'est pas supérieur au débit du cours d'eau.

Capacité : Puissance maximale d'un système de production d'énergie électrique, exprimée normalement en kilowatts ou en mégawatts.

Courant : Débit d'électricité, mesuré en ampères, semblable au débit d'eau exprimé en litres par seconde.

Courant alternatif (c.a.) : Courant circulant alternativement dans un sens puis dans l'autre. En Amérique du Nord, la fréquence du courant alternatif est de 60 Hz et en Europe, de 50 Hz. Le courant alternatif est utilisé universellement parce qu'il peut être transporté et distribué de façon plus économique que le courant continu.

Charge : Ensemble des appareils et autres dispositifs connectés à une source d'énergie.

Charge de base : Quantité d'électricité nécessaire en tout temps, durant toute l'année.

Charge de pointe : Charge électrique au moment de la demande d'électricité maximum.

Condensateur : Dispositif diélectrique qui capte et stocke momentanément l'énergie électrique.

Conduite forcée : Conduite sous pression servant à acheminer l'eau du bief d'amont jusqu'à la turbine.

Consommation en mode veille : Consommation d'électricité par des appareils qui ne sont pas utilisés, notamment les téléviseurs, les magnétoscopes, les fours à micro-ondes et les ordinateurs comportant une horloge ou un processeur.

Courant continu (c.c.) : Courant circulant toujours dans le même sens, tel le courant fourni par une pile.

Débit : Quantité d'eau utilisée pour produire l'électricité, mesurée normalement en mètres cubes par seconde, en pieds cubes par minute, en litres par seconde ou en gallons par minute.

Efficacité : Rapport, exprimé en pourcentage, de la puissance de sortie à la puissance d'entrée.

Énergie : Aptitude à effectuer un travail; quantité d'électricité fournie durant une période déterminée. On utilise généralement l'unité du kilowattheure

(kWh) pour exprimer la puissance (kW) exercée sur une période déterminée (en heures);
1 kWh = 3 600 kilojoules.

Facteur de capacité : Rapport de l'énergie fournie par un système de production d'énergie électrique à l'énergie qui serait produite si le système était exploité à sa capacité maximale durant une période déterminée (habituellement une année).

Facteur de puissance : Rapport de la puissance réelle d'un appareil, exprimée en watts, à sa puissance apparente, exprimée en volts-ampères (VA). Par exemple, pour fonctionner correctement, un appareil de 400 W dont le facteur de puissance est de 0,8 nécessite une source de 500 VA. C'est la raison pour laquelle il faut utiliser des génératrices plus puissantes que prévu pour faire fonctionner des appareils dont le facteur de puissance est faible.

Facturation nette : Forme d'accord de compensation selon lequel le compteur électrique d'un bâtiment connecté au réseau mesure la quantité d'électricité fournie par le service public au propriétaire lorsque ce dernier consomme de l'électricité du réseau, et fonctionne en sens inverse pour mesurer la quantité fournie par le propriétaire au service public lorsque la quantité produite est supérieure à la quantité consommée, l'excédent circulant vers le réseau. À la fin de la période de paiement, lorsque le compteur est lu, le propriétaire du système paie au service public un montant équivalant à la différence entre l'énergie consommée et l'énergie produite.

Fréquence : Nombre de cycles d'un courant alternatif en une seconde, exprimé en hertz.

Génératrice : Machine tournante qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Hauteur de chute : Différence de niveau entre deux surfaces d'eau, exprimée en mètres ou en pieds.

Hauteur de chute brute : Différence de niveau entre l'entrée et la sortie (où se trouve la turbine) d'une conduite d'amenée (conduite forcée). Hauteur de chute nette : Hauteur de chute utile après soustraction des pertes de charges survenues dans la conduite forcée.

Hertz (Hz) : Unité de fréquence du courant alternatif, qui correspond au nombre de cycles par seconde. En Amérique du Nord, la fréquence du courant alimentant les maisons est normalement de 60 Hz.

Hors réseau : Désigne un site non branché au réseau électrique; qui est autosuffisant sur le plan électrique.

Joule (J) : Unité internationale d'énergie équivalant à un courant d'une puissance de 1 watt circulant durant 1 seconde.

Kilowatt (kW) : Unité commerciale de puissance électrique équivalant à 1 000 watts.

Kilowattheure (kWh) : Unité d'énergie équivalant à 1 kilowatt utilisé pendant 1 heure.

Lampe fluorescente compacte (LFC) : Lampe moderne dotée d'un ballast intégré qui utilise une fraction de l'énergie consommée par une lampe à incandescence ordinaire.

Mégawatt (MW) : Unité de puissance équivalant à 1 million de watts.

Onduleur : Appareil électronique permettant de transformer le courant continu en courant alternatif; cette transformation est normalement accompagnée d'une hausse de tension.

Production : Quantité d'électricité produite par un système.

Puissance : Quantité de travail par unité de temps ou, de manière plus générale, quantité d'énergie convertie par unité de temps en une autre forme d'énergie. Elle est exprimée en joules par seconde, c'est-à-dire en watts ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$). La puissance électrique est exprimée en kilowatts.

Réseau : Ensemble de lignes électriques servant à distribuer, dans un large territoire, l'électricité provenant de diverses sources.

Survitesse : Vitesse de la roue de turbine lorsque, dans des conditions de régime, toutes les charges extérieures sont débranchées.

Transformateur : Dispositif doté de deux bobines isolées, ou plus, dont les fils sont enroulés autour d'un matériau magnétique tel le fer, et utilisé pour modifier la tension alternative ou pour isoler électriquement des circuits individuels.

Turbine : Appareil servant à transformer l'énergie cinétique de l'eau en mouvement en énergie mécanique. On l'utilise souvent pour entraîner des génératrices ou des pompes.

Tension : Mesure du potentiel électrique – c'est-à-dire de la « pression électrique » qui pousse le courant électrique dans un circuit fermé – exprimée en volts.

Watt (W) : Unité de puissance électrique, équivalant à la production de 1 joule d'énergie par seconde, utilisée couramment pour exprimer le taux de consommation d'électricité d'un appareil électrique.

Abréviations

Ah	=	ampère-heure
c.a.	=	courant alternatif
c.c.	=	courant continu
CDC	=	courbe des débits classés
DAM	=	débit annuel moyen
EC	=	Environnement Canada
gal/min	=	gallons par minute
H	=	hauteur de chute brute
h	=	hauteur de chute nette
Hz	=	hertz
kW	=	kilowatt
kWh	=	kilowattheure
L/s	=	litre par seconde
lb/po ²	=	livre par pouce carré
LFC	=	lampe fluorescente compacte
m	=	mètre
P	=	puissance
pi	=	pied
pi ³ /min	=	pied cube par minute
po	=	pouce
Q	=	débit
e	=	efficacité
RCE	=	régulateur de charge électronique
RGA	=	régulateur de génératrice asynchrone
tr/min	=	tour par minute
V	=	volt
W	=	watt

Bibliographie

Livres

- Davis, Scott. *Microhydro: Clean Power from Water* (ébauche), Colombie-Britannique, New Society Publishers, 2003.
- DCS – Technology Development et International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD). *Manual for Survey and Layout Design of Private Micro-Hydropower Plants*, Butwal (Népal), DCS – Technology Development, et Kathmandu (Népal) ICIMOD, 1999.
- Fraenkel, Peter, et coll. *Micro-Hydro Power: A Guide for Development Workers*, Londres (Royaume-Uni), Intermediate Technology Publications en collaboration avec le Stockholm Environment Institute, 1991.
- Harvey, Adam, et coll. *Micro-Hydro Design Manual: A Guide to Small-Scale Water Power Schemes*, Londres (Royaume-Uni), Intermediate Technology Publications, 1993.
- Inversin, Allen R. *Micro-Hydropower Sourcebook: A Practical Guide to Design and Implementation in Developing Countries*. Washington (D.C.), États-Unis, National Rural Electric Cooperative Association International Foundation, 1986.
- Ontario. Ministère de l'Énergie. *Micro-Hydro Power: Energy from Ontario Streams*, Toronto (Ontario), 1982.
- Ontario. Ministère de l'Énergie. *Streams of Power: Developing Small Scale Hydro Systems*, Toronto (Ontario), 1986.
- Penche, Celso. *Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*, 2^e édition, Commission des Communautés européennes, Direction générale de l'Énergie (DG XVII), Bruxelles (Belgique), European Small Hydropower Association (ESHA), 1998.
- Smith, Nigel. *Motors as Generators for Micro-Hydro Power*, Londres (Royaume-Uni), Intermediate Technology Publications, 1997.
- Solar Energy Society of Canada Inc. (Société d'énergie solaire du Canada). *The Canadian Renewable Energy Guide*, 2^e édition, Regina (Saskatchewan), 1999.
- Terre-Neuve-et-Labrador. Department of Mines and Energy. *Micro-Hydro Power in Newfoundland and Labrador*, St. John's, 1984.
- Williams, Arthur. *Pumps as Turbines: A User's Guide*. Londres, (Royaume-Uni), Intermediate Technology Publications, 1995.

Manuels

- BC Hydro. *Handbook for Developing Micro Hydro in British Columbia* (ébauche), 2002.
- Énergie, Mines et Ressources Canada. Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement. *Canadian Small Hydropower Handbook: British Columbia Region*, Ottawa, 1989.
- Mathews, Robert. *Micro-hydro course*, Appropriate Energy Systems, Colombie-Britannique, 2000.
- National Centre for Appropriate Technology. *Micro-Hydro Power: Reviewing an Old Concept*, Butte (Montana), États-Unis, 1979.
- Ressources naturelles Canada. Centre de la technologie de l'énergie de CANMET (CTEC). RETScreen® International. « Contexte – Projet de petite centrale hydroélectrique », Varennes (Québec).
- Ressources naturelles Canada. Division de l'énergie renouvelable et électrique. Direction des ressources énergétiques. *Les systèmes éoliens autonomes : Guide de l'acheteur*, Ottawa, 2000.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Consommation d'énergie dans les maisons hors réseau*, Le point en recherche – Série technique 01-103.

Articles techniques

- Cunningham, Paul, et Barbara Atkinson. « Micro Hydro Power in the Nineties », dans *Homepower*, n° 44 (déc. 1994-janv. 1995), p. 24-29.
- Intermediate Technology Development Group (ITDG). *Micro-Hydro Power* (mémoire technique).
- États-Unis. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory. *Small Hydropower Systems*, DOE/GO-102001-1173 FS217, juillet 2001.
- États-Unis. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Consumer Energy Information. *Is a Micro-Hydroelectric System Feasible for You?*, EREC Reference Briefs, novembre 2002.
- Weaver, Christopher S. *Understanding Mini-Hydroelectric Generation*, article technique n° 18, Volunteers in Technical Assistance (VITA), 1985.
- Weaver, Christopher S. *Understanding Mini-Hydroelectric Generation*, article technique n° 19, Volunteers in Technical Assistance (VITA), 1985.

Sites Web utiles

Organismes

BC Hydro :
www.bchydro.com/environment/greenpower/greenpower1751.html

British Hydropower Association :
www.british-hydro.org

David Suzuki Foundation :
www.davidsuzuki.org

Encouragements fiscaux pour les investissements d'entreprise :
www.rescer.gc.ca/app/filerepository/General-tax_incentives_f.pdf

ÉnerGuide, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada :
oee.rncan.gc.ca/energuide/accueil.cfm

Friends of Renewable Energy BC :
www.forebc.com

Green Empowerment :
www.greenempowerment.org/resources.htm

Intermediate Technology Development Group (ITDG) :
www.itdg.org

International Small-Hydro Atlas :
www.small-hydro.com

Micro Hydro Centre :
www.eee.ntu.ac.uk/research/microhydro

Microhydro (portail Web) :
www.microhydropower.net

MicroPower Connect :
www.micropower-connect.org

Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Department of Energy, États-Unis :
www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/ab2.html

Ressources naturelles Canada (cartes topographiques) :
cartes.rncan.gc.ca

RETScreen® International :
www.retscreen.net

Volunteers in Technical Assistance (VITA) :
www.vita.org

Entreprises

Asia Phoenix Resources Ltd. :
www.powerpal.com

Canadian Hydro Components Ltd. :
www.canadianhydro.com

Canyon Industries Inc. :
www.canyonindustriesinc.com

Dependable Turbines Ltd. :
www.dtlhydro.com

Dulas Engineering Ltd. : www.dulas.org.uk

Mini-Grid Systems/Econnect Ltd. :
www.mini-grid.com

Energy Alternatives :
www.energyalternatives.ca

Energy Systems & Design :
www.microhydropower.com

Evans Engineering Ltd. :
www.microhydro.com

Harris Hydroelectric :
www.harrishydro.com

IT Power: www.itpower.co.uk

Morehead Valley Hydro Inc. :
www.smallhydropower.com

Ottawa Engineering Limited :
www.ottawaengineering.com

Powerbase Automation Systems Inc. :
www.powerbase.com

Sustainable Control Systems Ltd. :
www.scs-www.com

Thomson and Howe Energy Systems Inc. :
www.smallhydropower.com/thes.html

Yalakom Appropriate Technology :
www.yalatech.com

Microsystèmes hydroélectriques en exploitation

CADDET Centre for Renewable Energy :
www.caddet-re.org

Homepower :
www.homepower.ca

Microhydro (cours en ligne) :
www.energyalternatives.ca



Sondage

Nous vous remercions de votre intérêt à l'endroit de la publication *Microsystèmes hydroélectriques : Guide de l'acheteur* de Ressources naturelles Canada (RNCAN). Afin de nous aider à améliorer le guide, veuillez prendre quelques minutes pour répondre aux questions suivantes.

1. Comment avez-vous reçu votre exemplaire du guide?

- Brochure descriptive (RNCAN) Distributeur de systèmes Détaillant Salon professionnel
 Association d'énergie renouvelable Internet Autre (Veuillez préciser) : _____

2. Avez-vous trouvé le guide instructif? Oui Non

3. Quel était votre niveau de connaissances des microsystèmes hydroélectriques avant de lire le Guide de l'acheteur?

- Excellent Bon Faible Nul

4. Veuillez coter les caractéristiques suivantes du guide :

	Excellent	Bon	Passable	Faible
Compréhension facile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Longueur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clarté	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Complétude	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Photographie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Éléments graphiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Présentation matérielle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Veuillez écrire vos commentaires ou suggestions :

5. Si vous aviez à installer un microsystème hydroélectrique, où le feriez-vous?

- Résidence en milieu rural Chalet Auberge/gîte Ferme Parc Collectivité éloignée Autre : _____
(Veuillez préciser)

6. Aimeriez-vous recevoir plus d'information sur les microsystèmes hydroélectriques? Oui Non

7. Aimeriez-vous recevoir une liste des distributeurs ou des installateurs de systèmes de votre région? Oui Non

Vos réponses resteront confidentielles. Si vous voulez fournir les renseignements personnels suivants, veuillez les inscrire ci-dessous (en caractères d'imprimerie) :

Nom :

Adresse :

Ville :

Province/territoire :

Code postal :

Téléphone :

Courriel :

Veuillez envoyer le formulaire dûment rempli, à l'adresse suivante :

Ressources naturelles Canada
Division de l'énergie renouvelable et électrique
580, rue Booth, 17^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Télécopieur : (613) 995-0087

Merci!



Canada