

**FICHES PEDAGOGIQUES FILIERES ENERGIES
RENOUVELABLES**

**ETAPES TECHNIQUES, ADMINISTRATIVES, FINANCIERE ET
CONCERTATION**



SEPTEMBRE 2023

MAITRE D'OUVRAGE

**Grand Avignon Communauté
d'agglomération**

320 chemin des Meinajariès
BP 1259
84911 AVIGNON CEDEX 9
Tél : 04 90 84 47 00




PRESTATAIRES

AXENNE

73, cours Albert Thomas
69 003 LYON
Tél. : 06 70 27 73 84



Avertissement ! : ce document rédigé en 2023 dans le cadre de l'élaboration du Schéma Directeur des Energies Renouvelables du Grand Avignon ne saurait être immuable, la réglementation et les lois évoluant sans cesse, il est du ressort du lecteur de vérifier les points signalés par ce pictogramme : 

SOMMAIRE

1	CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF	4
2	LA CHAUDIERE BOIS OU RESEAU DE CHALEUR	7
3	LA GEOTHERMIE	11
4	PHOTOVOLTAÏQUE	14
5	ETAPE POUR UN PROJET EN TOITURE ET OMBRIERE	17
6	ETAPE POUR UN PROJET DE CENTRALE AU SOL	18

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF (CESC)

Fonctionnement

C'est à la surface du panneau que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et transmet sa chaleur via un échangeur à l'eau chaude sanitaire. Le circuit solaire est donc totalement indépendant du circuit consommateur.

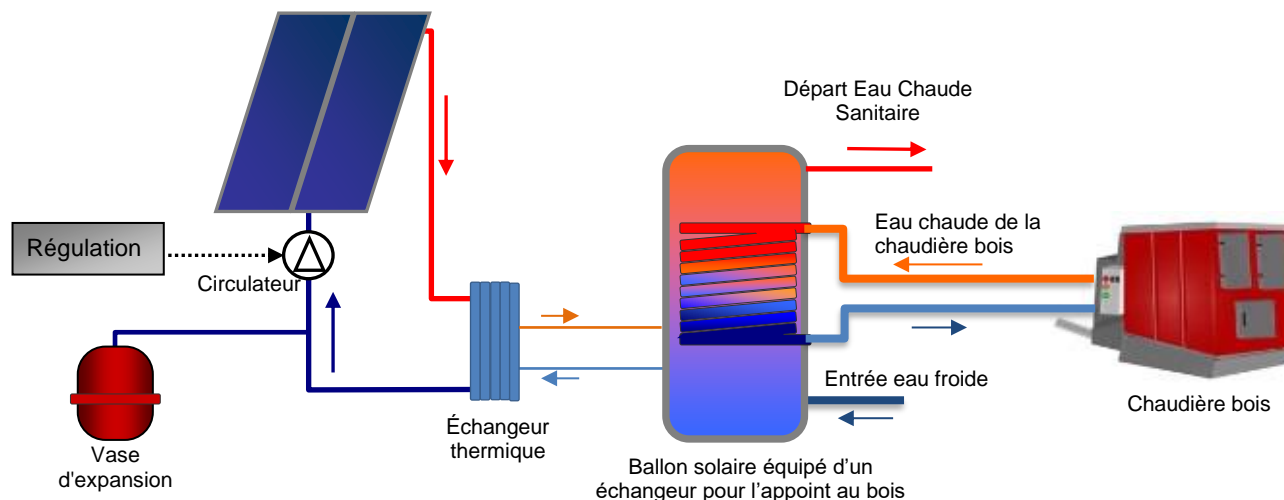


Schéma d'un Chauffe-Eau Solaire Collectif

Il est toujours nécessaire de recourir à un appoint, l'énergie solaire ne pouvant pas couvrir l'intégralité des besoins (en particulier en hiver) : un ballon de stockage solaire est généralement placé en amont d'un équipement d'appoint qui assure le maintien en température de consigne de l'eau chaude.

Les deux variantes au CESC sont le CESCI et le CESCAI :

- Le chauffe-eau solaire collectif à appoints individualisés (CESCAI) présente une production et un stockage solaires centralisés. L'énergie solaire permet de préchauffer l'eau sanitaire qui est ensuite distribuée dans les logements. Dans chaque logement, un appoint assure le complément à la préparation d'eau chaude sanitaire. Cette configuration n'est pas conseillée par [SOCOL](#) en raison des risques de Légionelle.
- Le chauffe-eau solaire collectif individualisé (CESCI) présente une production centralisée et un stockage solaire décentralisé dans chaque logement. L'énergie solaire est distribuée dans les logements, avec un stockage où l'appoint assure le complément à la préparation d'eau chaude sanitaire.

Avantage

La production de chaleur par le biais de capteurs solaires thermiques présente les avantages suivants :



- la ressource d'énergie utilisée est renouvelable et gratuite, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- le processus de production de chaleur n'a aucun impact sur l'environnement (pas de rejets polluants, pas de déchets, etc.),
- quelle que soit l'énergie substituée (électricité, fioul ou gaz), les rejets de gaz à effet de serre évités sont importants et la rentabilité de l'installation est désormais avérée quelle que soit l'énergie conventionnelle utilisée.
- Les différentes technologies sont au point ; leurs performances sont testées par un organisme indépendant (le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Les installateurs compétents pour de telles installations doivent avoir obtenu un agrément Qualisol, délivré par l'association Qualité'EnR.
- Il est possible de faire raccorder les appareils électroménager (lave-linge et lave-vaisselle) à l'eau chaude solaire afin de limiter les appels de puissance sur le réseau électrique et d'optimiser au mieux la production solaire qui sur le plan énergétique dépasse de loin toute production par une énergie conventionnelle. Il sera nécessaire d'amener l'eau chaude plutôt que l'eau froide au lave-vaisselle et d'amener l'eau chaude et l'eau froide au lave-linge. Deux solutions s'offrent alors aux occupants, s'équiper d'un lave-linge à double entrée qui se charge de mitiger l'eau à la bonne température ou s'équiper d'un système qui mitige l'eau avant l'entrée dans le lave-linge.

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF (CESC)

Conditions à respecter

- Une consommation d'eau chaude relativement constante tout au long de l'année, il est maintenant possible d'équiper les crèches, les cantines même si elles sont fermées en été, le circuit primaire ne surchauffe plus, il est auto-vidangeable.
- Une architecture étudiée en amont afin de prévoir un emplacement optimum pour l'intégration des capteurs au bâti et leur production. Idéalement, les capteurs sont orientés plein sud. Toutefois il faut tenir compte des masques environnants et de l'orientation du site. La puissance délivrée par l'installation est maximale dans le cas où le rayonnement solaire est perpendiculaire aux capteurs. Par ailleurs, il est intéressant d'incliner les capteurs en fonction de la période où l'on souhaite le plus de production. Idéalement, les capteurs solaires sont inclinés à 45° pour la production d'eau chaude sanitaire.
- L'installation de réducteur de débit sur tous les points d'eau, ce qui permet d'envisager une installation dimensionnée au plus juste et garantit des économies d'eau.
- Vérifier l'implantation de l'installation au regard des enjeux patrimoniaux :
 - ➔ dans le périmètre des monuments historiques, un site inscrit ou site classé, il ne doit pas y avoir de covisibilité entre les capteurs solaires thermiques et le monument historique, si ces covisibilités existent, contacter l'architecte des bâtiments de France pour étudier la meilleure solution d'intégration, il se doit de trouver des solutions pour favoriser le projet ([Circulaire du 9 décembre 2022](#) : Accélération de la production des énergies renouvelables : instruction des demandes d'autorisation et suivi des travaux d'implantation de panneaux solaires).
 - ➔ dans un site patrimonial remarquable, les capteurs solaires thermiques ne doivent pas être visibles depuis l'espace public, là encore, l'architecte des bâtiments de France peut vous accompagner pour trouver la meilleure solution.

Les solutions proposées par l'architecte des Bâtiments de France porteront sur :

(source : <https://www.culture.gouv.fr/fr/Thematiques/Monuments-Sites/Monuments-historiques-sites-patrimoniaux/Themes-environnementaux/L-installation-de-panneaux-photovoltaïques-en-abords-de-monuments-historiques-et-dans-les-sites-patrimoniaux-remarquables>)

- les emplacements peu visibles depuis l'espace public (implantation sur des bâtiments, tels des appentis, ou des pans de toiture peu visibles, notamment les toits plats) ;
- l'intégration aux toitures à pentes (respect de la géométrie des toitures, de leur aspect, etc.) ou installation sur les toitures terrasses ;
- l'ordonnancement par rapport à l'architecture de l'édifice (emplacement « axé » par rapport aux percements des façades, regroupement des panneaux, etc.).

Dans le cas des panneaux posés au sol, les prescriptions de l'architecte des Bâtiments de France ont pour objectif de préserver le patrimoine architectural, urbain et paysager, en adaptant, notamment, les projets à la topographie du terrain. Enfin, l'installation de panneaux photovoltaïques sur un immeuble inscrit ou classé au titre des monuments historiques est à éviter par principe au regard de l'impact visuel, de l'aspect invasif sur la structure et les matériaux et des risques en matière de sécurité. Toutefois, des exceptions peuvent être permises, examinées au cas par cas, en fonction de l'implantation et de l'ampleur du projet envisagé. Les procédures d'autorisation sont les mêmes que pour tous travaux sur monuments historiques.

Bâtiments cibles

Pour tous les types de bâtiments, plus la **consommation d'eau chaude du bâtiment est régulière sur l'année**, plus l'installation de capteurs solaires thermiques sera une opération rentable. En particulier, il faut éviter les bâtiments qui n'ont que très peu de besoins dans l'année (salle polyvalente par exemple).

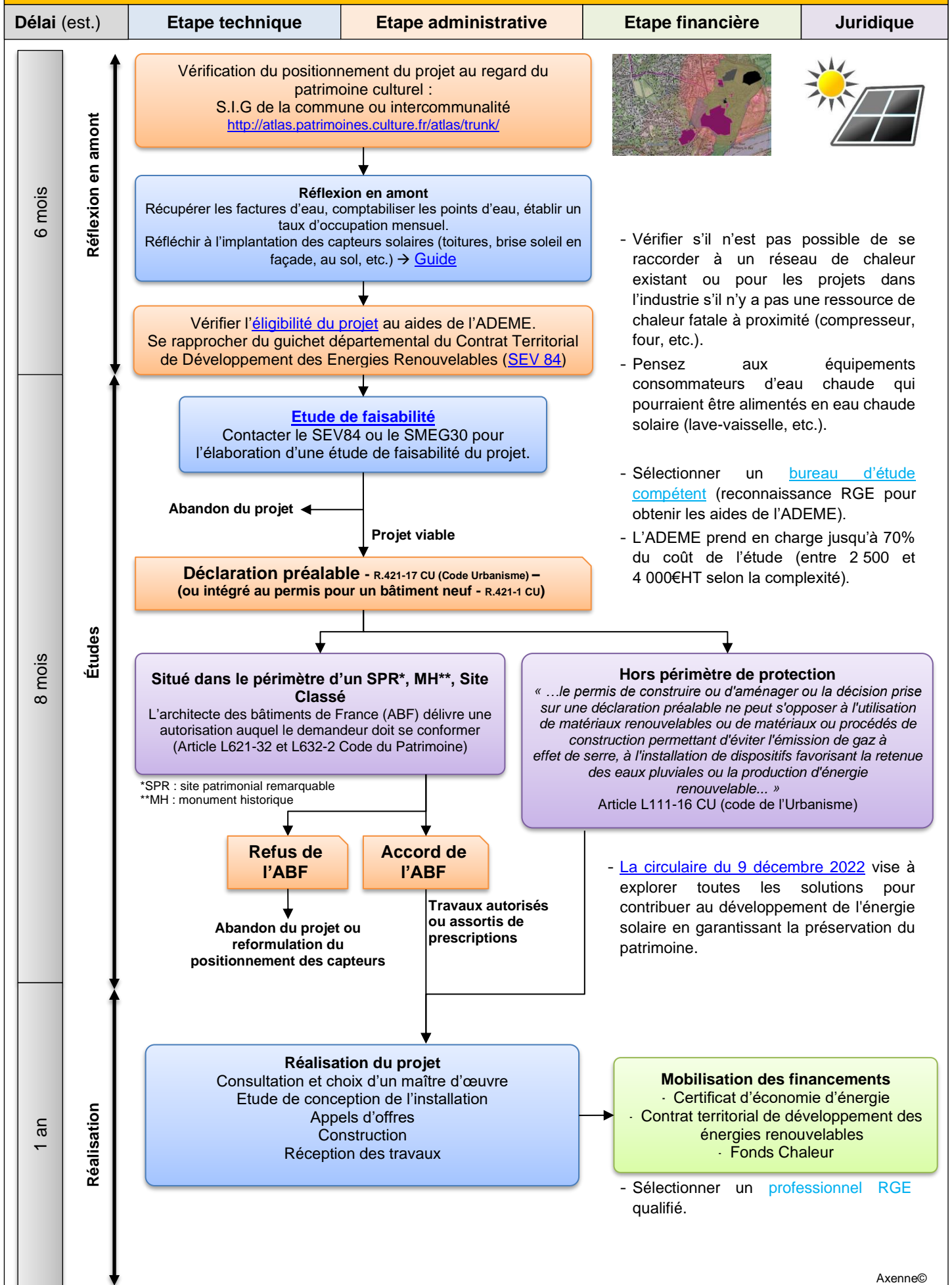
Éléments économiques

En première approximation, les hypothèses suivantes peuvent être prises :

- Investissement pour un chauffe-eau solaire collectif :
 - Pour une surface de capteurs inférieure à 50 m² : 1 200 € HT par m² de capteurs,
 - Pour une surface de capteurs inférieure à 100 m² : 1 000 à 1 100 € HT par m² de capteurs,
 - Pour une surface de capteurs supérieure à 100 m² : 800 à 1 000 € HT par m² de capteurs,
- Exploitation (ordres de grandeur) :
 - 130 € HT par an pour des installations de moins de 10 m²,
 - 185 € HT par an pour des installations de moins de 100 m²,
 - De 300 à 500 € HT par an pour des installations supérieures à 100m².
- Économies générées : réduction de la consommation d'eau chaude de 55% à 60%. Les économies dépendent de l'énergie utilisée auparavant ou substituée.



LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE COLLECTIF (CESC)



Axenne©

LA CHAUDIERE BOIS OU RESEAU DE CHALEUR BOIS

Fonctionnement de la chaudière bois automatique

Les **combustibles** utilisés sont les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui sont valorisés sous différentes formes :



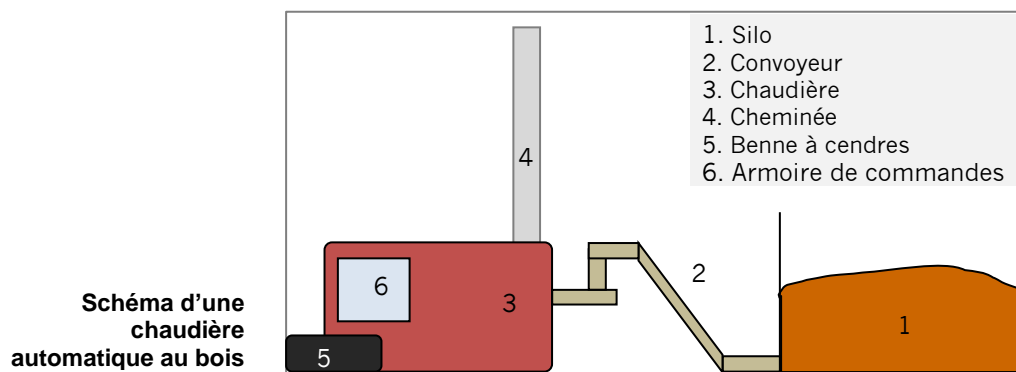
Les granulés de bois sont produits par compression et agglomération de sciure (pas d'agent de liaison). Ce sont de petits cylindres de 6 à 10 mm de diamètre et de 2 cm de long. Ils sont utilisés dans les **poêles** et les **chaudières à alimentation automatique de petite puissance**. Leur coût est plus élevé que celui des autres combustibles bois mais leur pouvoir calorifique est meilleur du fait de leur grande densité et de leur hygrométrie plus faible.



Les plaquettes (ou bois déchiqueté) sont obtenues par déchiquetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois, etc. Elles sont utilisées dans les **chaudières automatiques**.

Remarque : Le pouvoir calorifique des combustibles bois dépend en grande partie de leur humidité. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher le bois avant de le transformer et de le brûler.

Les combustibles bois sont amenés dans un silo de stockage attendant à la chaufferie et d'où ils sont envoyés automatiquement à la chaudière en fonction des besoins. Le schéma ci-dessous présente le fonctionnement général de la chaufferie bois :



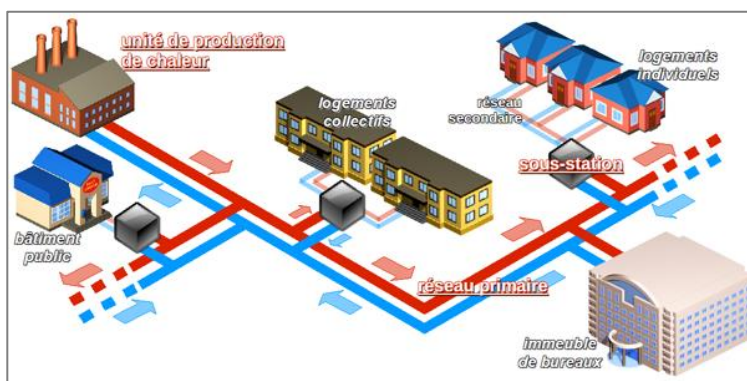
La technologie de la chaudière évolue au fur et à mesure que sa puissance augmente, de même que le système de transfert du combustible du silo vers la chaudière : de la vis sans fin pour les toutes petites chaudières, à l'extracteur à échelles et enfin au grappin.

Fonctionnement d'un réseau de chaleur au bois énergie

Le réseau de chaleur permet de distribuer la chaleur produite par une même chaudière à plusieurs bâtiments. Ces réseaux peuvent être de tailles différentes : de plusieurs milliers de logements desservis et plusieurs dizaines de kilomètres de réseaux à trois ou quatre bâtiments desservis pour quelques dizaines de mètres de réseau.

Le réseau de distribution, ou réseau de chaleur, est un circuit fermé constitué par des tuyaux enterrés isolés, transportant un fluide caloporteur (eau le plus souvent). Il part de la chaudière et dessert les bâtiments raccordés, transmet la chaleur puis revient à la chaudière en retournant le fluide refroidi.

La sous-station permet l'échange de chaleur entre le circuit primaire (réseau principal) et le circuit secondaire (installation de chauffage interne au bâtiment) via un échangeur de chaleur. Une sous-station est à prévoir pour chaque bâtiment raccordé. Lorsque le réseau de chaleur dessert d'autres bâtiments que ceux appartenant au maître d'ouvrage, il faut distinguer la partie primaire du réseau (chaufferie, réseau et sous-station) de la partie secondaire (chauffage des bâtiments après les sous-stations, à l'intérieur des bâtiments). Le maître d'ouvrage est responsable a minima de la partie primaire



LA CHAUDIERE BOIS OU RESEAU DE CHALEUR BOIS

Avantage du bois énergie

Le bois énergie bénéficie d'atouts indéniables, qui appuient son développement et une meilleure utilisation de cette ressource :



- Des ressources locales intéressantes et une filière d'approvisionnement bien structurée : l'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : conventionnellement, l'utilisation de la biomasse est considérée comme neutre du point de vue des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) puisque sa combustion émet autant de CO₂ qu'elle n'en a absorbé au cours de sa croissance. À ce titre, le développement de son utilisation, en substitution aux énergies traditionnelles, constitue l'un des leviers privilégiés de la lutte contre le changement climatique.
- Le contexte haussier du prix des énergies traditionnelles : alors que les énergies fossiles ont longtemps été les énergies les moins chères, la récente envolée des prix du pétrole rend compétitive la valorisation des ressources locales comme la biomasse.
- En couplage avec le solaire thermique pour les besoins d'eau chaude l'été, c'est la solution qui permet d'obtenir une quasi autonomie énergétique pour l'eau chaude et les besoins de chaleur.
- Les progrès techniques et la diffusion massive des matériels a permis une baisse des coûts d'investissement, la maturité technique des offres bois-énergie n'est aujourd'hui plus à démontrer.
- Par ailleurs, la gestion d'un combustible solide comme le bois étant plus compliquée que celle d'un combustible gazeux ou liquide, sa mutualisation en réseau de chaleur est un avantage. De plus, cela permet à un plus grand nombre de consommateurs de bénéficier d'une chaleur renouvelable et produite à partir de ressources locales, à un coût économique intéressant et moins volatile que les énergies fossiles.

Conditions à respecter

- Veiller à la qualité du combustible utilisé dans la chaudière : plus la puissance de cette dernière est faible, plus les caractéristiques du combustible ont un impact important sur son fonctionnement (mauvaise combustion, rejet de polluants atmosphériques, détérioration des équipements, etc.). Il faut établir un contrat de fourniture précisant les caractéristiques requises ainsi que les pénalités en cas de non-respect du cahier des charges.
- Faire dimensionner par des professionnels expérimentés les différents éléments constitutifs de l'installation afin d'éviter de mauvaises conceptions : accessibilité du silo par les véhicules de livraison, surdimensionnement de la chaudière bois, etc.
- Bien entretenir et régler les équipements.
- Vérifier que les chaudières respectent les normes de rejets auxquelles elles sont soumises et qui garantissent des rejets atmosphériques acceptables. Plus la chaudière est de taille importante, plus la réglementation lui impose des seuils de rejets faibles.

Dans le cas d'un réseau de chaleur :

- S'assurer que le projet est pertinent sur le plan énergétique et économique : rechercher des bâtiments consommateurs et rapprochés de manière à avoir une densité énergétique importante. Une forte densité énergétique garantit une meilleure rentabilité puisque l'investissement consenti pour le réseau est plus facilement amorti (plus d'énergie livrée).
- La chaufferie centrale et le silo de stockage doivent être intégrés au site.
- Un accès pour le passage des camions et l'approvisionnement en combustible doit être prévu (prévoir une aire de retournement pour les véhicules de livraison suivant la configuration du site).
- La conception, la réalisation, la gestion et l'exploitation sont plus complexes que dans le cas de solutions individuelles.
- Penser le montage juridique dès le début du projet car il appelle une gestion plus complexe et une organisation spécifique. Il faut qu'un acteur se montre intéressé pour porter un tel projet ; le maître d'ouvrage doit ensuite contractualiser avec différents acteurs pour la mise en place des installations puis leur exploitation. Plusieurs montages juridiques sont possibles.

LA CHAUDIERE BOIS OU RESEAU DE CHALEUR BOIS

Dimensionnement

Une attention toute particulière sera portée au dimensionnement de la chaudière. En particulier, on veillera à **ne pas la surdimensionner**, pour des raisons techniques et économiques :

- Ses performances se dégradent lorsqu'elle fonctionne à bas régime, ce qui engendre des difficultés d'exploitation à la mi-saison pour une chaudière surdimensionnée ;
- L'investissement de la chaudière bois est la part la plus importante dans le coût de revient de la chaleur produite. Une chaudière surdimensionnée engendre un investissement important, et diminue la rentabilité économique du projet.

La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (une semaine par grand froid pour les petites chaudières, quelques jours pour les réseaux de chaleur importants) de la chaudière ou suivant la taille des véhicules de livraison.

Dans le cas d'un réseau de chaleur, une chaudière d'appoint est nécessaire qui peut être également au bois ; il peut s'agir d'un simple appoint pour les périodes de grand froid et/ou d'une production de l'eau chaude sanitaire en été. Il est également possible de dimensionner la chaudière d'appoint de façon à ce qu'elle soit en capacité de couvrir l'intégralité des besoins le jour le plus froid (en cas de panne de la chaudière principale) ; on parle alors d'appoint/secours.

La taille du silo de stockage est calculée en fonction de l'autonomie souhaitée (quelques jours pour les réseaux de chaleur importants) de la chaudière ou suivant la taille des véhicules de livraison.

Le tracé du réseau de chaleur doit être optimisé de manière à être le plus court possible et de réduire les investissements. Chaque tronçon doit être accessible de manière à pouvoir effectuer des opérations de maintenance éventuellement nécessaires

Éléments économiques

L'investissement pour l'ensemble du projet varie de manière très importante en fonction du type de projet, des aménagements de génie civil à effectuer, de la reprise d'éléments existants, etc. Des ordres de grandeur sont donnés ci-dessous en fonction de la puissance de la chaudière bois :



- 100 – 300 kW : 1 500 à 2 300 € HT/kW,
- 300 – 1 200 kW : 1 300 à 1 900 € HT/kW,
- > 1 200 kW : 900 à 1 500 € HT/kW.

L'exploitation comprend la gestion du bon état de marche de l'installation et des sous-stations, et la gestion des livraisons de combustibles.

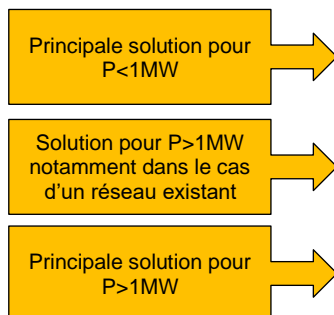
Mode de gestion

Pour la gestion de l'installation collective, le maître d'ouvrage (autorité organisatrice) a le choix entre plusieurs formules regroupées en deux catégories principales : la gestion directe et la gestion déléguée.

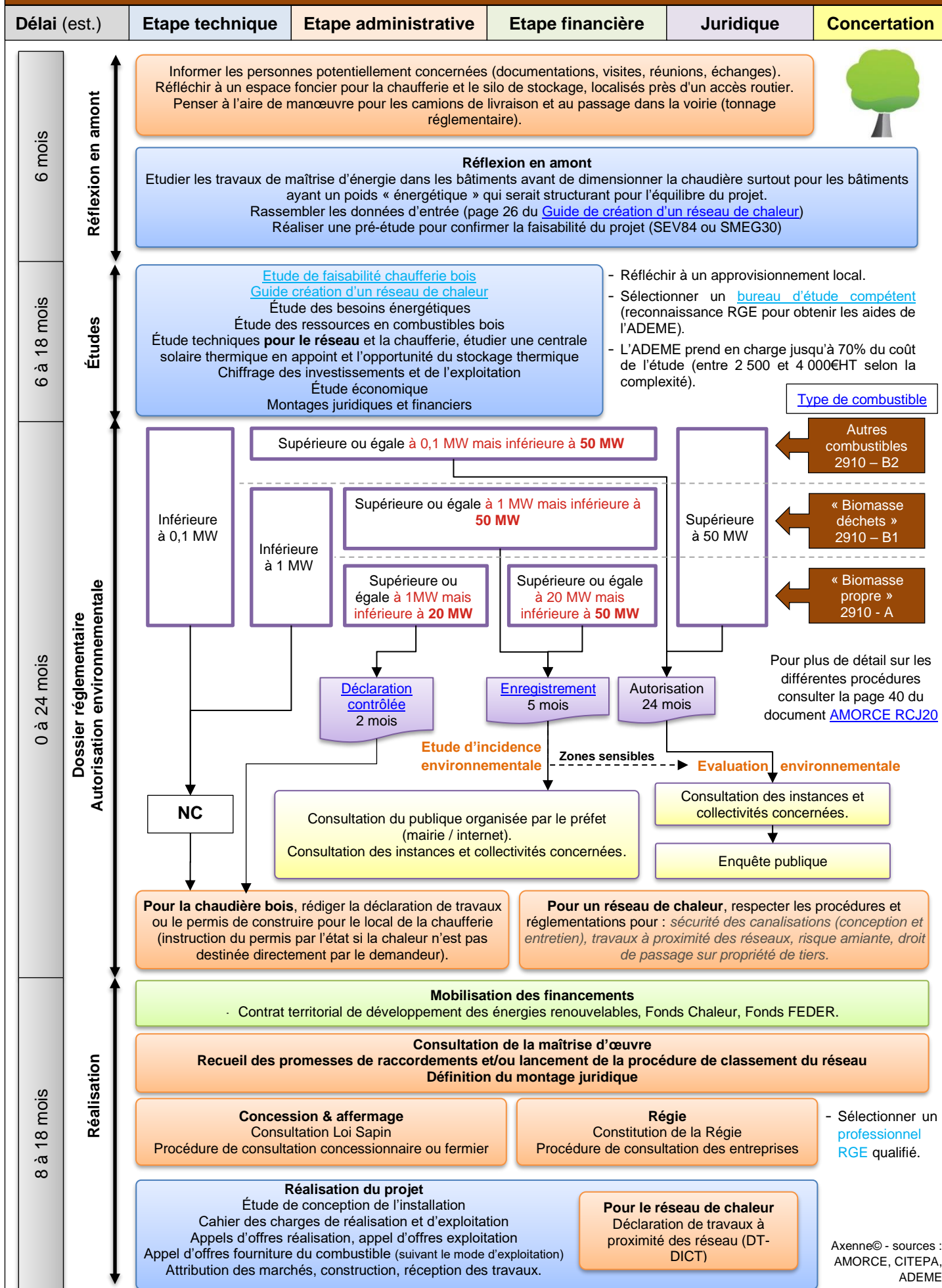
Le choix d'un mode de gestion n'est pas anodin car il conditionne le bon déroulement des opérations futures. Chaque projet de chaufferie bois étant particulier, différentes solutions de montages juridiques peuvent être envisagées. Chaque solution ne correspond pas à un cas défini, il convient d'étudier à chaque fois l'ensemble des possibilités au regard des caractéristiques du projet.

Mode de gestion	Ouvrages		
	Propriété	Investisseur	Exploitation technique, commercialisation et facturation
Régie	Collectivité	Collectivité	Collectivité
			Collectivité ET sous-traitant privé
DSP	Affermage	Collectivité	Opérateur privé (délégataire)
	Concession	Collectivité	

Source :AMORCE



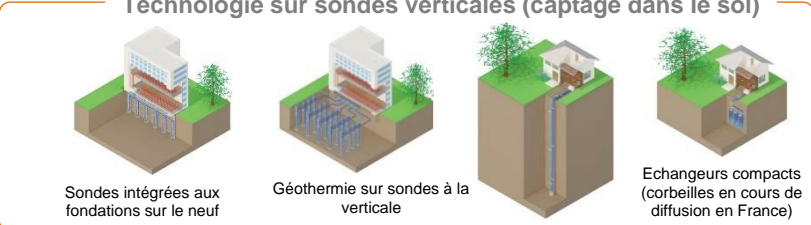

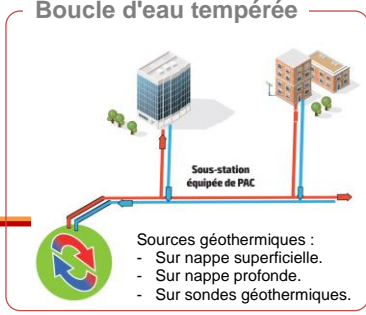
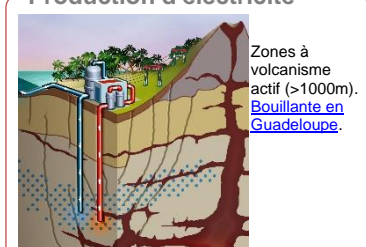
LA CHAUDIERE BOIS OU RESEAU DE CHALEUR BOIS



LA GEOTHERMIE

DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES

Il n'y a pas qu'une géothermie mais plusieurs qui permettent d'exploiter les calories dans une nappe d'eau ou dans le sol. Ainsi, on distingue des types de géothermies en fonction de la profondeur et des types de technologies suivant la valorisation de la ressource.

Profondeur de captage en mètre	Famille	Type de géothermie	Technologie
0	GEOTHERMIE DE SURFACE (<200m) T 15° à 20°C	Géothermie très basse énergie (associée à une pompe à chaleur)	Technologie sur sondes verticales (captage dans le sol) 
200			Technologie sur nappe 
400	T 40°C	Géothermie basse et très basse énergie (associée ou non à une pompe à chaleur)	Boucle d'eau tempérée  <p>Sources géothermiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sur nappe superficielle. - Sur nappe profonde. - Sur sondes géothermiques.
600	GEOTHERMIE PROFONDE (>200m)		
800		Géothermie basse énergie (utilisation directe de la nappe)	
1 000	T 80°C		
2 000	T 80°C		Production d'électricité  <p>Zones à volcanisme actif (>1000m). Bouillante en Guadeloupe.</p>
3 000			
4 000	T 200°C		

Source : Axenne, visuels BRGM, ADEME

AVANTAGES DE LA GEOTHERMIE

Si la rentabilité et le montage en œuvre des projets est plus complexe que pour les énergies conventionnelles, la géothermie offre de très nombreux avantages :

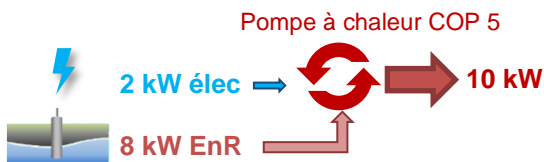
- les pompes à chaleur ont un très bon rendement énergétique (de 3 à 5 kWh thermiques fournis pour 1 kWh électrique consommé) c'est deux à quatre fois plus performant que les pompes à chaleur air/air,
- la chaleur dans la nappe ou dans le sol est à une température constante et ne dépend pas des conditions atmosphériques,
- la géothermie offre la possibilité d'installer un seul équipement qui se chargera de la chaleur et du refroidissement du bâtiment,
- les équipements ne se voit pas, ne font pas de bruit et sont très discret,
- il est possible d'utiliser les places de parking extérieures pour installer des sondes verticales sur un bâtiment existant ou neuf,
- il est possible de faire du géocooling : en arrêtant la pompe à chaleur on peut rafraîchir un bâtiment en transférant sa chaleur dans le système de captage. C'est très économique pour rafraîchir naturellement un bâtiment.

ELEMENTS DE DIMENSIONNEMENT

Une sonde de 100 mètres de profondeur fournit une puissance thermique d'environ 5 kW. En considérant que la pompe à chaleur associée au forage a un COP de 3,5, la puissance thermique fournie au bâtiment ou au réseau de chaleur est d'environ 7 kW par sonde :



Dans le cadre d'un projet sur nappe, tout va dépendre de la disponibilité de la ressource (débit de pompage en m³/h possible) et de la température de l'eau. La performance est généralement légèrement supérieure à très supérieure par rapport aux sondes verticales.



ELEMENTS ECONOMIQUE

L'investissement pour la pompe à chaleur s'élève environ à 300 €/kW.

Dans le cadre d'un forage, il faut compter 2000 € par mètre foré.

Dans le cadre de sondes verticales l'investissement s'élève de 50 à 90 € par mètre foré. Ces deux valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols

LA GEOTHERMIE

Conditions à respecter

Quel que soit le type de géothermie (sur nappe ou sur sonde) :

- Entamer des travaux de rénovation énergétique avant tout projet.
- Vérifier sur le site internet <https://www.geothermies.fr/> dans la rubrique espace régionale « La carte et ses données ». La cartographie de la réglementation sur la géothermie de minime importance est présentée et selon les régions vous pouvez trouver les potentiels sur la nappe et/ou sur sonde (le département du Gard ne laisse apparaître que le potentiel sur la nappe).
- Installer une pompe à chaleur capable de démarrer à vide ou équipée d'un démarrage progressif pour limiter l'appel de puissance.
- Choisir une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est élevé : pour cela, se rapprocher de l'ADEME qui donnera le COP minimal pour bénéficier des aides disponibles.
- Faire installer la pompe à chaleur par un installateur QualiPAC ; faire réaliser les forages par un installateur Qualiforage. Ces agréments sont délivrés par l'association Qualit'EnR, qui promeut la qualité des prestations des professionnels installateurs.
- L'émission de chaleur se fera préférentiellement via des émetteurs basse température afin d'améliorer les performances de la pompe à chaleur.

Projet de géothermie sonde :

- Vérifier préalablement à tous travaux si le site se prête à ce type d'installation (caractéristiques géotechniques du sol, accès pour un engin de forage, etc.).
- Vérifier l'interférence avec d'éventuelles réseaux à proximité ou sur le site d'implantation (eau, électricité, gaz, etc.).



Projet de géothermie (sur nappe ou sur sonde) :

- Vérifier sur le site internet <https://www.geothermies.fr/> les ouvrages déjà présents des « Installations de géothermie de surface sur échangeurs ouverts (nappe) ». En présence d'un très grand nombre d'ouvrage se rapprocher du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) pour connaître l'exploitation actuelle de la nappe.
- Mettre en place des dispositifs de mesure des débits prélevés et rejetés dans la nappe.
- Surveiller la température de l'eau de la nappe pour vérifier si ces équipements ne risquent pas d'impliquer une modification de son équilibre à long terme. Vérifier l'interférence avec d'éventuelles autres installations.

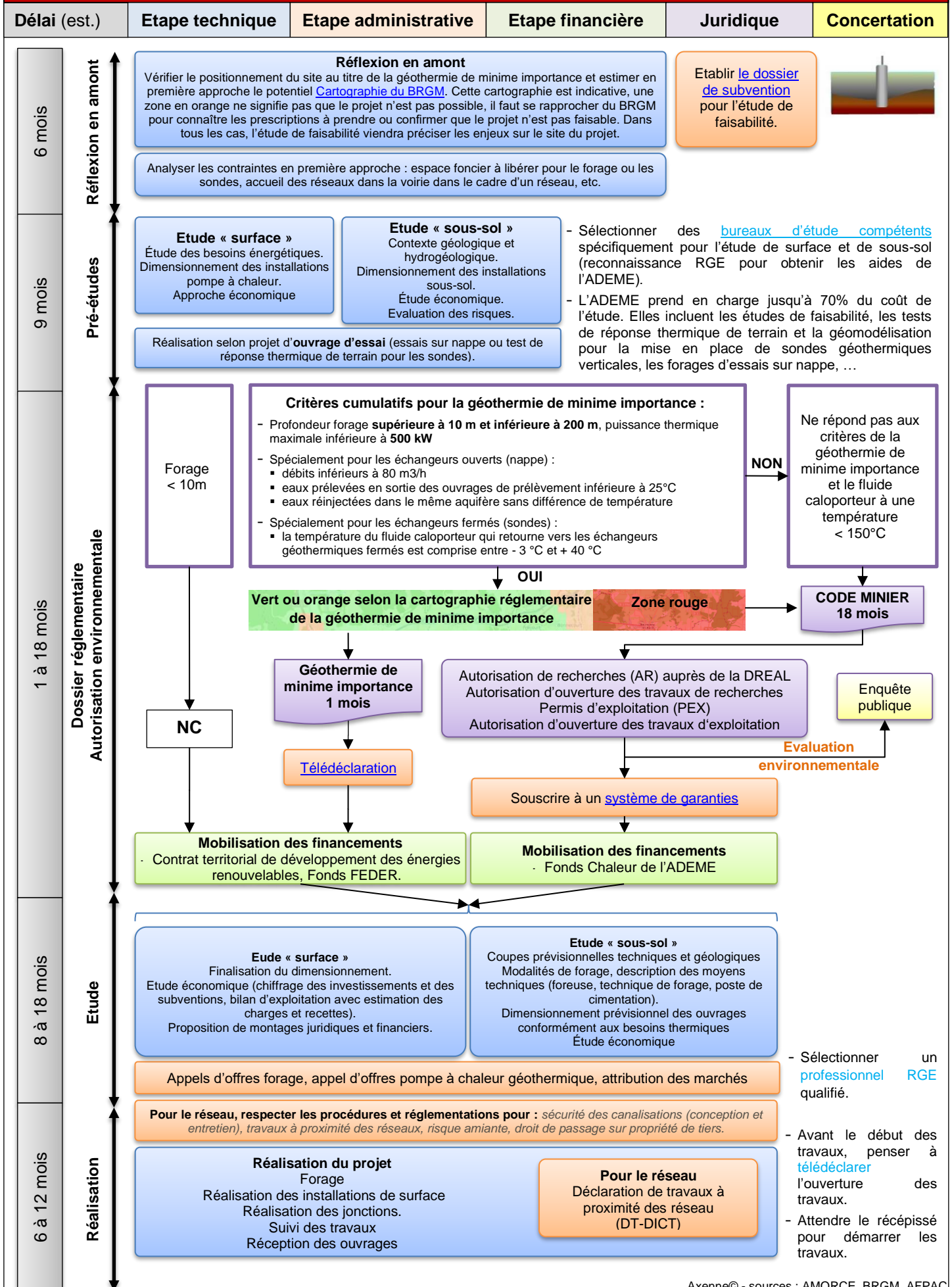


Eléments économiques

L'investissement pour une pompe à chaleur s'élève à 300 €/kW environ. Pour le forage de capteurs verticaux, l'investissement s'élève à 50 à 90 € par mètre foré. Ces valeurs sont cependant très variables en fonction des caractéristiques des sols.



LA GEOTHERMIE



Axenne© - sources : AMORCE, BRGM, AFPAC

L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

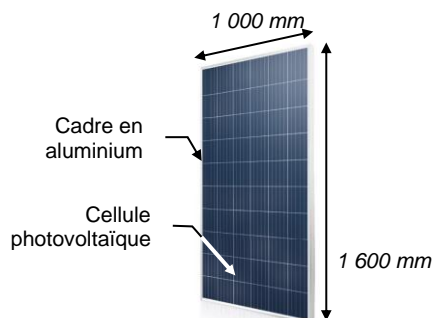
DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

Une **cellule photovoltaïque** est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse du soleil et la transforme en électricité.

Lorsqu'une cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons de la lumière viennent frapper sa face avant. L'énergie des photons est partiellement transmise aux électrons qui se déplacent de la face arrière de la cellule à la face avant. C'est ce déplacement des électrons qui crée un courant électrique.



Cellule de 166 mm x 166 mm et d'épaisseur 0,1 mm



Un module polycristallin de 1,6 m² et d'une puissance de 320 Wc (rendement de 20%)

Chaque cellule photovoltaïque ne génère qu'une petite quantité d'électricité. Elles sont donc assemblées en série pour constituer un **module photovoltaïque**, qui se compose généralement d'un circuit de 60 cellules (ou 120 demi-cellules). Le matériau utilisé étant très fragile, les cellules sont encapsulées entre une plaque de verre et un matériau composite. Il existe des modules bi-verre plus résistant et permettant de laisser passer une partie du rayonnement entre les cellules. Un cadre en aluminium permet la fixation de ce module sur différents types de supports. Des modèles sans cadre permettent différentes variantes pour l'intégration architecturale.

Un **générateur photovoltaïque** est composé d'un champ de modules, de structures rigides (fixes ou mobiles) pour poser les modules, du câblage, et des onduleurs qui permettent de convertir le courant continu en courant alternatif compatible avec le réseau électrique.

Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle). Les modules photovoltaïques sont généralement garantis 25 ans et leur durée de vie est d'environ 30 ans.

MODE DE VALORISATION DE L'ELECTRICITE PRODUITE

Historiquement, avec des tarifs d'achats très avantageux, il était économiquement plus viable de vendre en totalité l'électricité produite à EDF ou aux Entreprises Locales de Distribution (Régie d'électricité). Ainsi depuis 2006, la plupart des projets ont été conçus sur ce principe.

Avec la baisse des coûts des modules photovoltaïques (plus de 80% depuis 2010), la production d'énergie photovoltaïque devient désormais compétitive avec le coût de l'électricité du réseau. Il devient intéressant économiquement d'autoconsommer sa production plutôt que de vendre la totalité de son courant. Les différents modes de valorisation de l'électricité produite sont présentés à la page suivante.

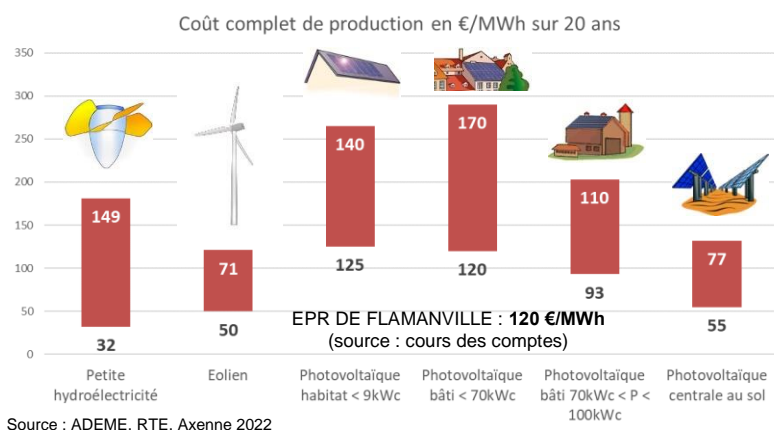
AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

La production d'électricité à partir de l'énergie radiative du soleil par l'intermédiaire de modules photovoltaïques présente des avantages importants :

- la source d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre,
- la production d'électricité est réalisée sans qu'il n'y ait aucune pièce en mouvement, ce qui entraîne des frais de maintenance excessivement faibles et une exploitation aisée (les modules sont auto-nettoyés avec la pluie),
- le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit, etc.),
- ce qui est produit est généralement consommé sur place, ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production décentralisée, ex : centrale nucléaire).

ELEMENTS ECONOMIQUES

Coût complet moyen de production d'un mégawatt-heure de différents types d'installation photovoltaïque et comparée avec d'autres modes de production d'électricité (plage de valeur en fonction de la complexité) :



INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Fabricants français de panneaux photovoltaïques :

- [Voltec Solar](#), [SunPower](#), (Etats-Unis mais deux sites de production en France), [Systovi](#) (capteurs bi-énergie PV + air chaud), [DualSun](#) (capteurs bi-énergie PV + eau chaude)

[Recyclable](#) à hauteur de 94%

[Pas de terre rare](#) dans les modules cristallins

[Le temps de retour énergétique](#) < 2 ans

[Emissions de CO₂](#) dues à la fabrication : entre 30 et 46 gCO₂

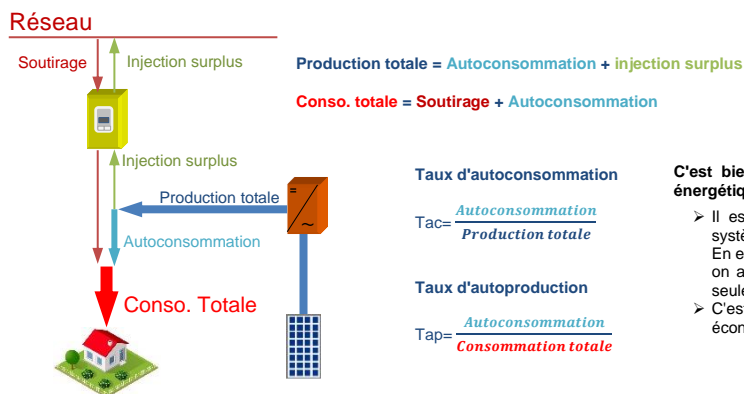
[Rejets de CO₂ évités](#) sur le parc électrique : 480 gCO₂/kWh

Axenne©

IDEE REÇUES

Ce n'est pas la chaleur du soleil mais bien les photons de lumière qui sont exploités. D'ailleurs, plus la température de la cellule augmente plus son rendement diminue.

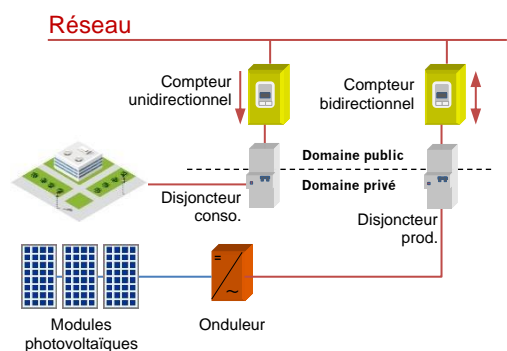
Schéma de principe d'une installation photovoltaïque



C'est bien le Taux d'autoproduction qui importe sur le plan énergétique et économique :

- > Il est important qu'il soit le plus élevé, cela signifie que le système photovoltaïque couvre le maximum des besoins du site. En effet, en ne mettant par exemple que 100Wc sur une maison on atteint un taux d'autoconsommation de 100% mais de 1% seulement pour le taux d'autoproduction.
- > C'est le taux d'autoproduction qui permet d'estimer les économies sur les kWh soutirés au réseau.

Les différents modes de valorisation d'une installation photovoltaïque

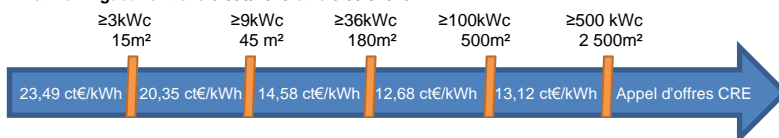


VENTE EN TOTALITE :

- la production photovoltaïque est complètement dissociée de la partie consommation du client,
- toute la production est injectée sur le réseau, mais les électrons se dirigent directement vers les équipements au plus proche (a priori dans le bâtiment s'il y a une consommation ou chez le plus proche voisin qui consomme),
- il y a des frais pour le deuxième compteur de production de l'énergie.

Les tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque sont modifiés tous les trois mois.

Tarif en vigueur entre le 01/05/2023 et le 31/07/2023



Entre 100kWc et 500 kWc l'énergie est plafonnée à 1 100 heures/kWc

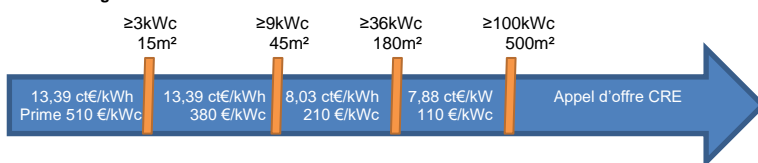
Source : <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/tarif-rachat-electricite-photovoltaique/>

AUTOCONSOMMATION ET VENTE EVENTUELLE DU SURPLUS :

- la production photovoltaïque est en partie ou en totalité autoconsommée,
- si la production photovoltaïque excède la consommation du bâtiment, le surplus est comptabilisé par le compteur Linky est vendu à EDF ou aux Entreprises Locales de Distribution,
- lorsque le producteur s'est engagé à ne rien injecter sur le réseau, il y a alors un organe de régulation de l'onduleur qui régule la puissance de l'onduleur,
- il y a un seul compteur Linky qui se charge de comptabiliser la consommation et le surplus injecté sur le réseau.

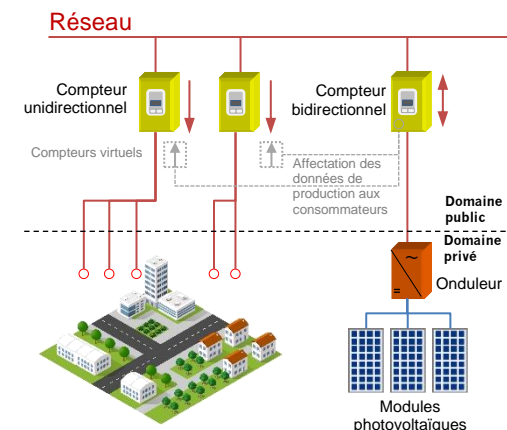
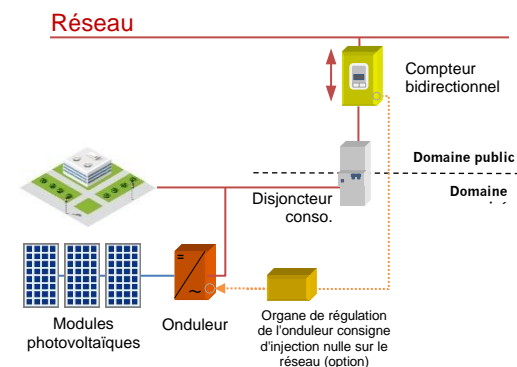
Les tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque sont modifiés tous les trois mois.

Tarif en vigueur entre le 01/02/2023 et le 30/04/2023



La prime est versée en une seule fois par l'acheteur.

Source : <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/tarif-rachat-electricite-photovoltaique/>



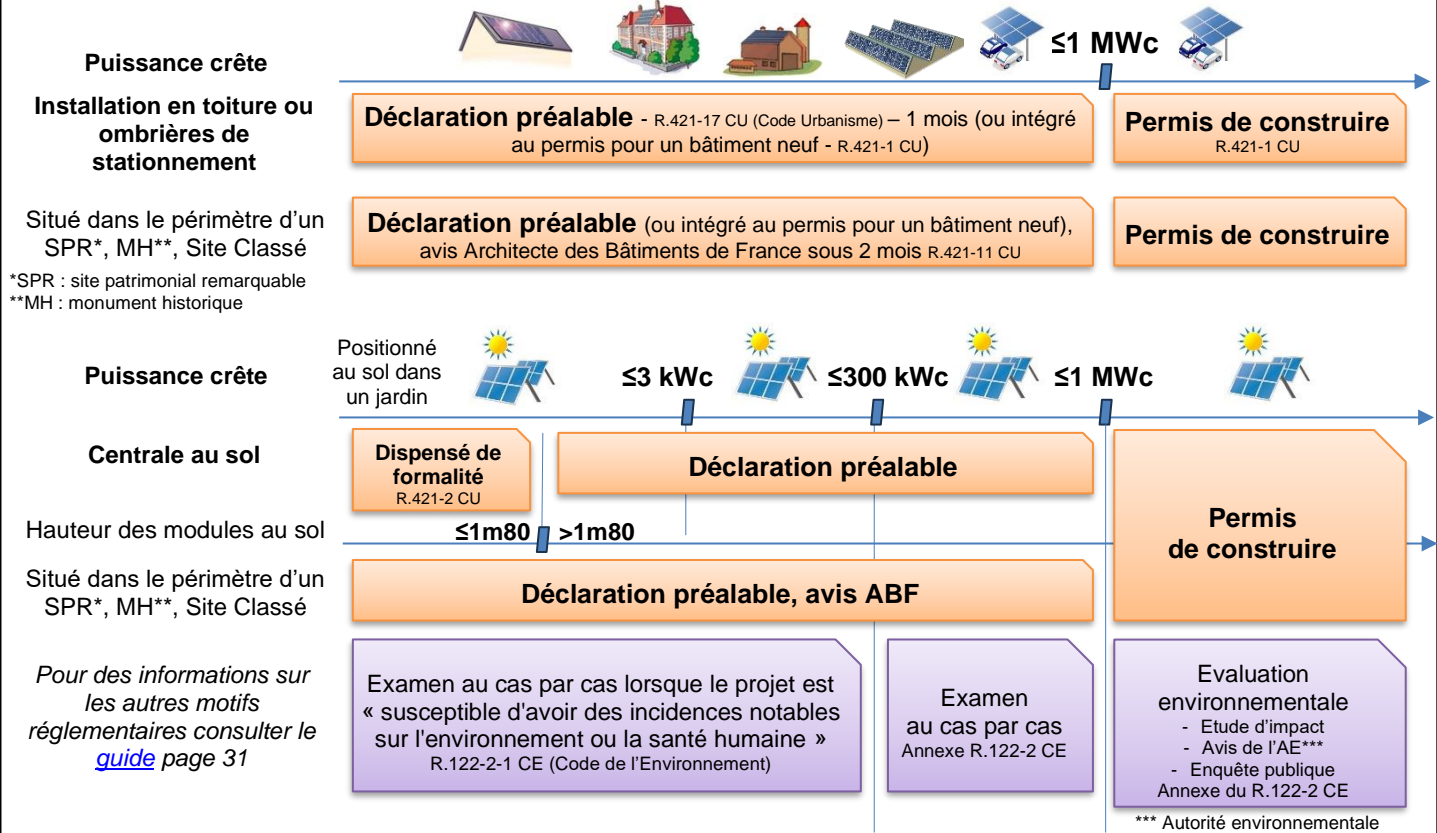
AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE :

- suivant les profils de consommation des différents consommateurs, on définit une clé de répartition de la production photovoltaïque à chacun d'entre eux,
- les kWh injectés par la production photovoltaïque sur le réseau public sont répartis selon la clé de répartition définie : c'est le principe de compteurs virtuels,
- dans l'idéal, la production photovoltaïque est en totalité autoconsommée,
- si la production photovoltaïque excède les consommations du bâtiment, le surplus est délivré gratuitement au réseau (le gestionnaire peut imposer au producteur de ne rien injecter sur le réseau),
- il y a un seul compteur Linky qui se charge de comptabiliser la consommation et le surplus injecté sur le réseau.

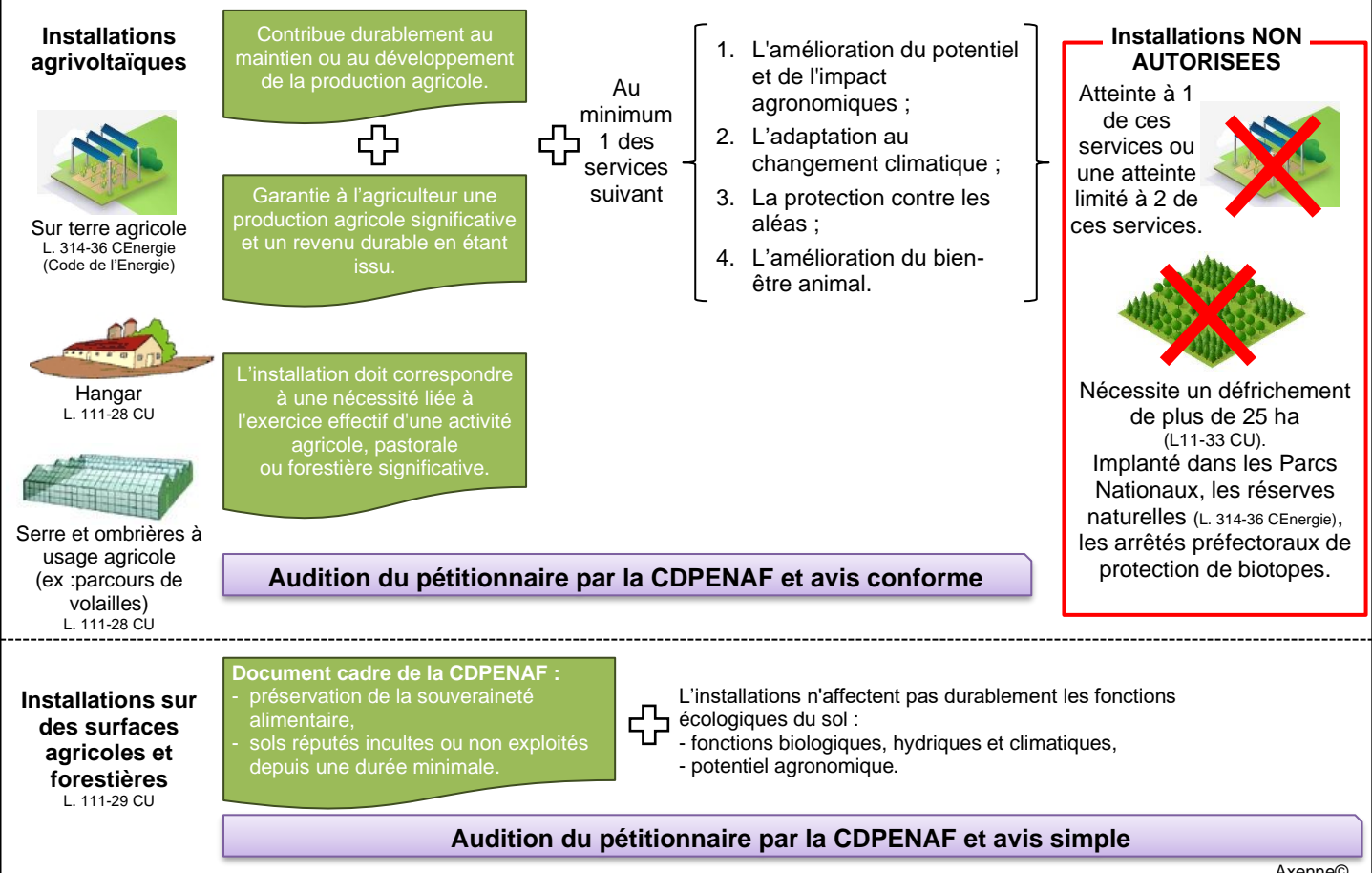
L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

LA REGLEMENTATION APPLICABLE AUX PROJETS SUR LES BATIMENTS, OMBRIERES ET CENTRALES AU SOL

La réglementation applicable aux installations photovoltaïques dépend de la puissance de l'installation, de sa hauteur et de son positionnement au regard des enjeux patrimoniaux. Pour les ombrières photovoltaïques et les centrales photovoltaïques au sol, il existe de nombreux critères et procédures supplémentaires en fonction du positionnement du projet.

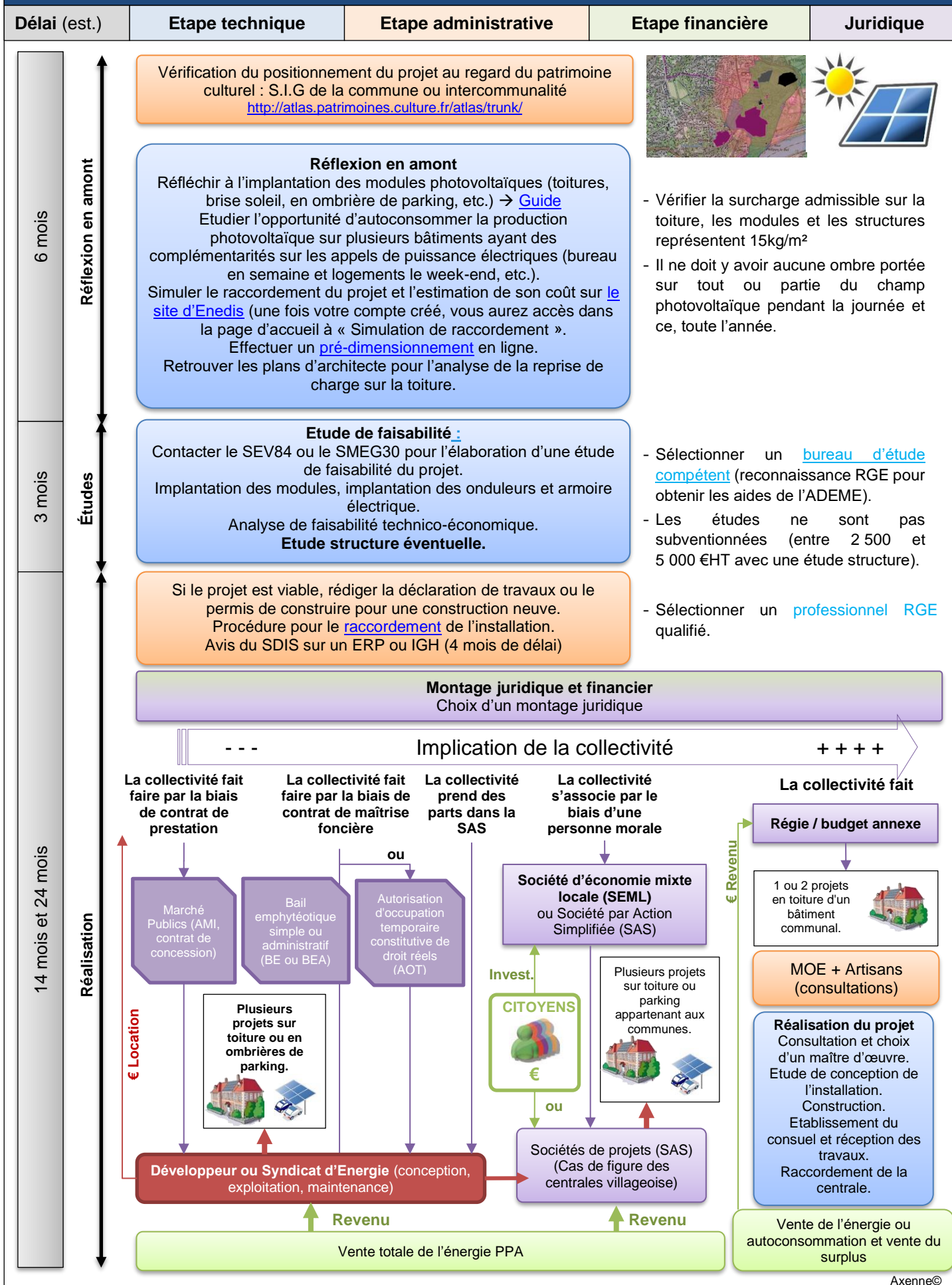


CENTRALES AU SOL SUR DES TERRAINS AGRICOLES, NATURELS ET FORESTIERS



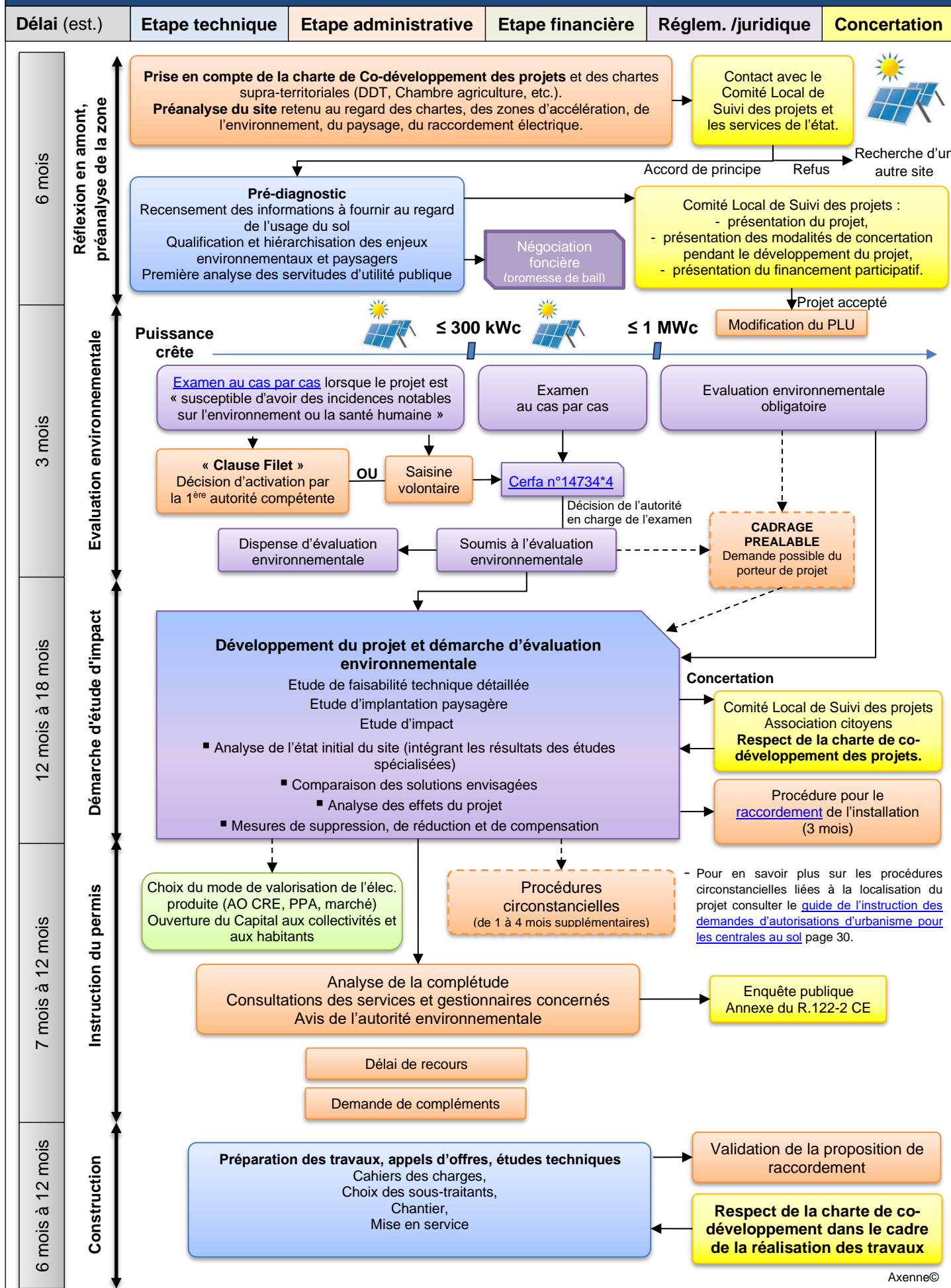
Axenne©

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN TOITURE OU OMBRIERE



Axenne©

LES CENTRALES AU SOL



Axenne©