

ASSOCIATION CANOPÉE

<https://canopee.org>

# Guide des membres Canopée

*Guides pratiques : théories, techniques et retours d'expérience de l'association Canopée*

PARTIE I

Résilience alimentaire

PARTIE II

Autonomie énergétique

PARTIE III

Construction bio-climatique

# Sommaire

---

<b>Avant-propos .....</b>	<b>2</b>
<b>Partie I – Résilience alimentaire .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1 Principes du maraîchage bio-intensif.....</b>	<b>4</b>
I.1.1 La méthode Fortier – origines et philosophie.....	4
I.1.2 Planches permanentes.....	4
I.1.3 Travail minimal du sol.....	5
I.1.4 Densité de plantation et successions culturales.....	5
I.1.5 Fertilisation et matière organique.....	6
I.1.6 Outils spécifiques.....	7
I.1.7 Données économiques – entre modèle et réalité.....	7
I.1.8 Pertinence pour les parcelles Canopée.....	8
<b>I.2 Céréales anciennes.....</b>	<b>8</b>
I.2.1 Pourquoi cultiver des céréales anciennes ?.....	8
I.2.2 Espèces cultivées à Canopée.....	8
I.2.3 De la culture à la farine : transformation et stockage.....	9
<b>I.3 Organisation des parcelles.....</b>	<b>9</b>
I.3.1 Répartition des jardins.....	9
I.3.2 Calendrier culturel – planification des successions.....	9
I.3.3 Services collectifs.....	10
<b>I.4 Pratiques agroécologiques.....</b>	<b>11</b>
I.4.1 Ce qui est autorisé et interdit.....	11
I.4.2 Compostage et fertilisation.....	11
I.4.3 Gestion de l'eau.....	11
I.4.3.1 Arrosage raisonné.....	11
I.4.3.2 Récupération des eaux de pluie.....	11
I.4.3.3 Réseau d'irrigation collectif – parcelle Durance (terrain C).....	11
<b>I.5 Amendements biologiques et biostimulants.....</b>	<b>12</b>
I.5.1 Principe de la pyrolyse – trois sorties utiles.....	12
I.5.1.1 Les fours mobiles BioAgriGroup / Carbon Offset Zone.....	12
I.5.2 Vinaigre de bois – co-produit précieux.....	14
I.5.3 Biochar – granulométrie et épandage.....	15
I.5.4 Activation du biochar avant épandage.....	15
I.5.5 Purins de plantes et LiFoFer.....	16
I.5.5.1 Purin d'ortie ( <i>Urtica dioica</i> ).....	16
I.5.5.2 Purin de consoude ( <i>Symphytum officinale</i> ).....	16
I.5.5.3 Purin de prêle ( <i>Equisetum arvense</i> ).....	16
I.5.5.4 LiFoFer (Litière Forestière Fermentée).....	16
I.5.6 Complémentarité avec le projet gazogène (Partie II).....	17

<b>I.6 Formations et partage de savoir.....</b>	<b>18</b>
<b>I.7 Choix de Canopée — résilience alimentaire.....</b>	<b>18</b>
<b>Partie II — Autonomie énergétique .....</b>	<b>20</b>
<b>II.1 Huile végétale comme carburant.....</b>	<b>21</b>
II.1.1 Principe et contexte.....	21
II.1.2 Transformation et filtration.....	22
II.1.3 Retours d'expérience à Canopée.....	22
<b>II.2 Gazogène.....</b>	<b>22</b>
II.2.1 Principe de la gazéification.....	22
II.2.1.1 Le gazogène co-courant (downdraft) — technologie retenue.....	22
II.2.2 Projet Canopée — production électrique sur plaquettes d'élagage.....	23
II.2.2.1 Concept.....	23
II.2.2.2 Gazogène commercial retenu — JXQ-10A (Green Power Kexin).....	23
II.2.2.3 Moteur Bernard — adaptation au syngas.....	24
II.2.2.4 Combustible : plaquettes forestières d'élagage.....	24
II.2.2.5 Dimensionnement indicatif du projet.....	25
II.2.3 Biochar, vinaigre de bois et amendements biologiques.....	25
II.2.4 Avantages.....	25
II.2.5 Inconvénients et contraintes.....	26
II.2.6 Alternatives au projet gazogène-Bernard.....	26
<b>II.3 Éolienne Piggot.....</b>	<b>27</b>
II.3.1 Présentation.....	28
II.3.1.1 Principe de fonctionnement.....	28
II.3.1.2 Courbe de puissance type.....	29
II.3.2 Ressources et communauté.....	31
II.3.3 Améliorations des éoliennes Pigott.....	31
<b>II.4 Fours solaires.....</b>	<b>32</b>
II.4.1 Panorama des technologies.....	32
II.4.2 LyteFire — concentrateur parabolique DIY semi-professionnel.....	32
II.4.2.1 Principe de fonctionnement.....	32
II.4.2.2 Les deux modèles DIY.....	32
II.4.2.3 Documentation et packages DIY.....	33
II.4.2.4 Projet Canopée — séchage de pois-chiches et boulangerie solaire.....	33
II.4.2.5 Avantages.....	34
II.4.2.6 Inconvénients et contraintes.....	34
<b>II.5 Poêles de masse.....</b>	<b>34</b>
II.5.1 Principe et origines.....	35
II.5.2 Foyers modernes — batchblock et DSR.....	35
II.5.2.1 Le batchblock.....	36
II.5.2.2 Le foyer DSR.....	36
II.5.3 Offre commerciale et kits.....	36
II.5.4 Poêle bouilleur — intégration thermique complète.....	37
<b>II.6 Choix de Canopée — feuille de route énergétique.....</b>	<b>38</b>

II.6.1	Priorité 1 — Carburant : huile végétale pure (à implémenter).....	38
II.6.1.1	Quelle huile ? Le colza en théorie, le tournesol en pratique.....	38
II.6.2	Priorité 2 — Chauffage et cuisson : cuisinière de masse (à implémenter).	39
II.6.3	Priorité 3 — Électricité : gazogène + groupe électrogène Bernard (projet).	40
II.6.4	Priorité 4 — Électricité : éolienne Piggott 3,60 m (projet).....	40

## **Partie III — Construction bio-climatique économique ..... 42**

### **III.1 État de l'art — de l'habitat vernaculaire à l'habitat du futur.....43**

III.1.1	L'habitat vernaculaire était bioclimatique.....	43
III.1.2	La redécouverte bioclimatique (années 1960-1980).....	43
III.1.3	Standards modernes — du BBC au Passivhaus.....	44
III.1.4	Puits canadien et VMC double flux — ventilation sans énergie.....	44
III.1.5	Grosses bottes de paille porteuses — situation réglementaire.....	45
III.1.6	La question du coût.....	45
III.1.7	Orientation solaire et protection solaire — principes fondamentaux. ....	46
III.1.8	Adaptation au changement climatique — l'habitat du futur.....	46
III.1.9	La maison enterrée — solution ultime ?.....	47

### **III.2 Principes bioclimatiques.....48**

III.2.1	Orienter et concevoir le bâtiment.....	48
III.2.2	Confort d'été et confort d'hiver.....	48

### **III.3 Bottes de paille haute densité.....49**

III.3.1	Caractéristiques et avantages.....	49
III.3.2	Chantiers participatifs.....	50

### **III.4 Pisé (terre compactée).....51**

III.4.1	Principe.....	51
III.4.2	Compatibilité avec le site de Puget.....	51

### **III.5 Constructions semi-enterrées et maisons enterrées.....51**

III.5.1	Avantages thermiques.....	51
III.5.2	Typologies.....	51
III.5.3	Constructeurs et ressources de référence.....	52
III.5.4	Points de vigilance techniques.....	53
III.5.5	Réglementation et autoconstruction.....	54

### **III.6 Canopée : conseil technique, pas maîtrise d'œuvre.....54**

### **III.7 Abris de jardin.....55**

III.7.1	Dimensions standard Canopée.....	55
III.7.2	Conception en ossature bois sur plots.....	55
III.7.3	Précautions spécifiques au site de Puget.....	56

### **III.8 Choix de Canopée — construction.....56**




III.8.1	À l'échelle individuelle, tout de suite : l'abri de jardin ossature bois.....	56
III.8.2	À l'échelle d'un bâtiment d'envergure : la maison semi-enterrée.....	56

<b>Synthèse – Feuille de route &amp; synergies .....</b>	<b>58</b>
<b>1. Feuille de route – par axe et par horizon.....</b>	<b>59</b>
<b>2. Synergies entre projets – le graphe des parallèles.....</b>	<b>59</b>
2.1. Famille « feu · métal · bois ».....	60
2.2. Autres familles.....	61
<b>3. Compétences &amp; formations transversales.....</b>	<b>61</b>
<b>4. Actions rémunératrices pour Canopée.....</b>	<b>61</b>
<b>Documents annexes .....</b>	<b>63</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>66</b>
<b>1. Ressources et références.....</b>	<b>66</b>
1.1. Résilience alimentaire.....	66
1.2. Autonomie énergétique.....	66
1.3. Construction bio-climatique.....	66
<b>2. Contacts utiles.....</b>	<b>66</b>
<b>3. Statuts et règlement intérieur.....</b>	<b>66</b>
<b>4. Théories et calculs.....</b>	<b>67</b>
4.1. Documents d'étude par thème.....	67
4.2. Réseau d'irrigation Durance – dimensionnement hydraulique.....	67
4.3. Toiture-terre – descente de charges (habitat semi-enterré).....	68
4.4. Renouvellement d'air – habitat étanche chauffé au bois.....	68
4.5. Eau chaude solaire – capteurs thermiques (famille de 4, Luberon).....	68
4.6. Électricité solaire – photovoltaïque et batteries (consommation sobre)....	68
4.7. Notes de calcul à développer.....	68
<b>Bibliographie .....</b>	<b>69</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>71</b>

## Suivi des versions

Version	Date	Auteur	Modifications
0.1	01-06-2026	OLT	Squelette initial – contenu à développer.
<b>0.2</b>	<b>04-06-2026</b>	OLT	Recentrage « Choix de Canopée » : passage d'un panorama quasi état-de-l'art à un document qui tranche. Posture éditoriale (panorama → choix économique réaliste) explicitée en avant-propos ; section « Choix de Canopée » ajoutée en clôture de chaque partie ; ajout d'une partie « Synthèse » transversale (feuille de route, matrice des synergies, formations et actions rémunératrices).

## Circuit de validation

Version courante :		V. 0.2 du 04-06-2026 par OLT		
Nom	Initiales	Rôle	Signature	
Olivier TURLIER	<b>OLT</b>	Rédaction		
Matthieu FANTIN	<b>MAF</b>	Vérification sur le fond		
Bridget KARM	<b>BKA</b>	Validation sur la forme		

## Avant-propos

---

Canopée est une association loi 1901 dont l'objet est d'expérimenter, développer et implémenter des formes concrètes d'autonomie : alimentaire, énergétique et dans l'habitat. Ce guide s'adresse à ses membres — jardiniers locataires de parcelles, porteurs de projets énergétiques, ou auto-constructeurs — ainsi qu'à toute personne souhaitant rejoindre l'association.

Chaque partie de ce guide correspond à l'un des trois axes de Canopée. Elles peuvent être lues indépendamment — selon le projet qui vous amène — mais forment ensemble un système cohérent : les amendements produits en Partie I (biochar, purins, LiFoFer) partagent leur matière première avec la filière gazogène de la Partie II ; le four solaire valorise les récoltes des jardins ; et les techniques constructives de la Partie III accueillent les activités des deux premières.

**Un guide de choix, pas un catalogue exhaustif.** Pour chacun des trois axes, ce guide procède en deux temps. Il dresse d'abord un **panorama** des solutions existantes — un état de l'art forcément partiel, centré sur les techniques proches de ce que Canopée pourrait mettre en œuvre. Puis, en fin de partie, il **tranche** : une section « *Choix de Canopée* » désigne la ou les solutions effectivement retenues, distingue ce qui sera implémenté de ce qui reste en projet ou en veille, et explique le raisonnement.

**Le critère de décision est d'abord économique.** Canopée est une petite association aux moyens limités, dont une partie des membres dispose de peu de ressources. La solution retenue n'est donc pas nécessairement la plus performante sur le papier, mais celle qui combine au mieux : coût d'implémentation réduit, technique simple à réaliser — idéalement en chantier participatif —, valorisation de ressources locales gratuites ou quasi gratuites, et bénéfice direct pour le quotidien des membres. Lorsque la solution idéale et la solution réaliste divergent, le guide le dit explicitement et assume le compromis.

**Du panorama à l'action.** Après les trois parties, une **Synthèse** transversale réunit ces choix en une **feuille de route** — par axe et par horizon — et révèle les **synergies** entre projets : derrière des actions séparées (un jardin, un moteur, une maison) reviennent les mêmes gestes et matières — l'eau, la terre, le bois, le métal, le feu, la pierre — donc les mêmes compétences à mutualiser. Les **annexes** en donnent l'assise technique : des exemples de calcul qui montrent qu'une démarche d'ingénierie sous-tend chaque décision.

**Lire une partie :** le panorama répond à la question « que pourrait-on faire ? » ; la section « Choix de Canopée » répond à « que ferons-nous, dans quel ordre, et pourquoi ? ».

Ce document est un squelette. Les sections marquées [à développer] sont à compléter collectivement par les membres et le bureau de l'association.

PARTIE I

# Résilience alimentaire

*Techniques culturales du maraîchage bio-intensif, cultures de céréales anciennes, organisation des parcelles et pratiques agroécologiques. Ce que Canopée expérimente, développe et transmet à ses membres jardiniers.*



## I.1 Principes du maraîchage bio-intensif

### I.1.1 La méthode Fortier – origines et philosophie

Jean-Martin Fortier est un maraîcher québécois qui a popularisé le maraîchage bio-intensif sur petite surface à travers son ouvrage *Le jardinier-maraîcher* [1], traduit en une dizaine de langues et devenu une référence mondiale. Sa démarche s’inspire des maraîchers parisiens du XIX<sup>e</sup> siècle, qui alimentaient Paris depuis des surfaces très réduites grâce à une organisation rigoureuse : planches intensément fertilisées, cloches de verre, rotations rapides.

Le postulat central est audacieux : **il est possible de vivre dignement du maraîchage sur moins d’un hectare**, en substituant la connaissance agronomique et les outils adaptés à la mécanisation lourde et aux intrants de synthèse. Sa ferme au Québec (Les Jardins de la Grelinette, puis La Ferme des Quatre Temps) est citée en modèle de productivité sur petite surface.



Fig. 1. – Jean-Martin Fortier. Crédit : Le Jardinier-Maraîcher

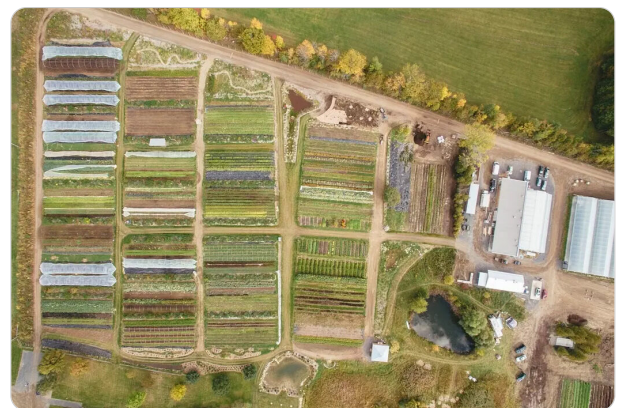


Fig. 2. – La Ferme des Quatre Temps (Québec). Crédit : Le Jardinier-Maraîcher

Canopée ne vise pas la rentabilité professionnelle du modèle Fortier — les jardiniers louent leurs parcelles, ils n’ont pas vocation à en vivre. La méthode est néanmoins une boussole agronomique solide : ses principes de gestion du sol, de densité et de rotations s’appliquent à toute échelle, y compris un jardin associatif de 320 m<sup>2</sup>.

### I.1.2 Planches permanentes

La **planche permanente** est l’unité de base du système [2]. Ses dimensions sont standardisées pour s’adapter à des outils spécifiques :

Paramètre	Valeur et intérêt
Largeur	75 cm — accessible depuis chaque côté sans fouler le sol cultivé
Longueur	15 à 30 m selon la parcelle
Allées	45 cm — circulation et agenouillement sans compaction de la planche
Hauteur	10 à 15 cm au-dessus du niveau naturel → drainage amélioré

Paramètre	Valeur et intérêt
Permanence	La planche ne change pas de place d'une année sur l'autre → accumulation du capital organique

La permanence est agronomiquement décisive : le sol n'est jamais compacté sur la zone cultivée (les allées absorbent le piétinement), la vie microbienne se stabilise d'une saison à l'autre, et chaque centimètre de compost ajouté reste en place — contrairement à un sol régulièrement labouré qui réinitialise sa structure à chaque passage.

### I.1.3 Travail minimal du sol

Le non-labour est un principe fondateur. À la charrue qui retourne le sol, la méthode Fortier substitue la **grelinette** (*broadfork*) : un outil à 4-5 dents courbées qui soulève et aère le sol profondément (25-30 cm) **sans inverser les horizons**.



Fig. 3. – Travail à la grelinette sur les planches. Crédit : [themarketgardener.com](http://themarketgardener.com)

Labour (tracteur)	Grelinette
Retourne les horizons	Soulève sans inverser
Détruit les réseaux mycorhiziens	Préserve la rhizosphère
Expose les graines enfouies	N'expose pas les semences dormantes
Oxyde la matière organique	Maintient le carbone en place
Requiert carburant + machine	Outil manuel, 200 €

Le **mulch** (paillis de BRF, paille ou foin, 5-10 cm) complète le travail minimal : il couvre le sol nu entre les cultures, limite l'évaporation et inhibe la germination des adventices.

### I.1.4 Densité de plantation et successions culturales

En maraîchage bio-intensif, les végétaux sont espacés à la **distance minimale de bon développement** — leurs feuilles se touchent à maturité et forment une *canopée végétale* qui [3] :

- étouffe les adventices (réduction estimée à 60-80 % du temps de désherbage)
- maintient l'humidité du sol par ombrage
- crée un microclimat frais favorable aux racines

Une même planche accueille 2 à 4 cultures différentes par saison (**succession culturale**) :

**Exemple – planche printemps-automne :**

Épinards (mars-mai) → Haricots verts (juin-août) → Mâche + radis (sept-nov)

Les **rotations culturales** déplacent chaque famille botanique d'une planche à l'autre d'une année sur l'autre, sur un cycle de 3 à 4 ans.

**Règle des familles botaniques :** ne jamais faire succéder deux cultures de la même famille sur la même planche. Les 6 grandes familles à piloter : solanacées · cucurbitacées · brassicacées · légumineuses · ombellifères · chénopodiacées.

La densification maximale combinée aux successions rapides se traduit par des rendements nettement supérieurs au maraîchage conventionnel sur une même surface, comme l'illustre la comparaison ci-dessous (valeurs indicatives issues de la littérature agronomique) :

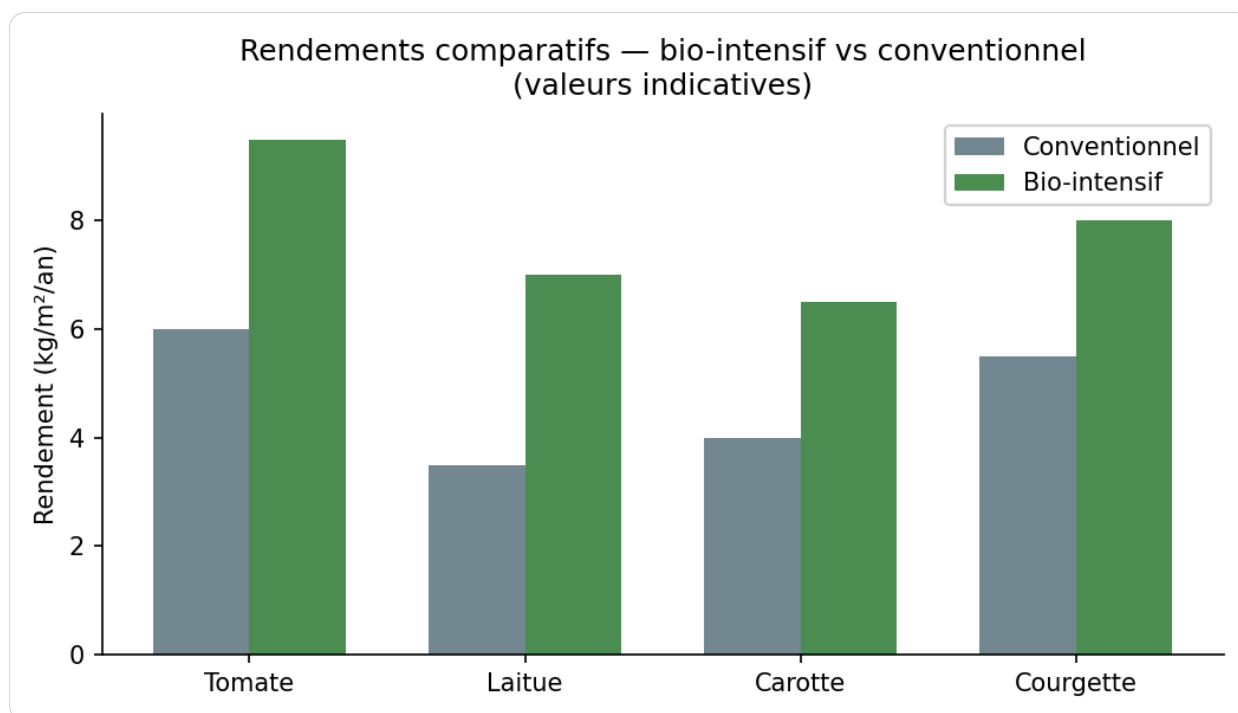


Fig. 4. – Rendements comparatifs — maraîchage bio-intensif vs conventionnel (kg/m<sup>2</sup>/an, valeurs indicatives). Le gain est particulièrement marqué sur les cultures de salade et les légumes feuilles, grâce à la canopée végétale et aux successions rapides.

Ces écarts s'expliquent principalement par la densité de plantation (moins d'espace perdu), la qualité du sol (compost annuel, absence de labour) et l'enchaînement des cultures sur la même planche dans la même saison. **Attention :** ces rendements supposent un sol déjà structuré après 2 à 3 ans de pratique — la première saison est toujours moins productive.

### I.1.5 Fertilisation et matière organique

Le sol est la seule « machine » du système. Il reçoit :

- **Compost mature** (3–5 cm/an sur les planches actives) — apport de matière organique stable et de vie microbienne
- **Engrais verts** en interculture (phacélie, trèfle incarnat, seigle fourrager) — fixation d’azote atmosphérique, protection du sol nu, structuration racinaire
- **Biochar** en amendement de fond — améliore la rétention d’eau et l’activité microbienne à long terme
- Pas d’engrais chimique, pas de pesticide — la ferme se nourrit de ses propres résidus de culture

### I.1.6 Outils spécifiques

La méthode requiert peu d’outils, mais ils sont dimensionnés pour la largeur standard de 75 cm :

- **Grelinette** (*broadfork*) — ameublissement profond sans retournement
- **Transplantoir** — repiquage dense et précis
- **Filets et voiles anti-insectes** — protection physique, zéro pesticide
- **Serfouette / collinot** — binage de surface rapide
- **Plaques alvéolées + table chauffante** — plants en chambre chaude
- **Bâches occultantes** — pré-germination des adventices puis destruction

Aucun tracteur jusqu’à environ 1 ha cultivé. Un motoculteur léger peut accélérer la préparation initiale des planches.

### I.1.7 Données économiques — entre modèle et réalité

Jean-Martin Fortier avance des chiffres ambitieux pour sa ferme québécoise : **150 000 CAD de chiffre d’affaires sur 1,5 acre** ( 0,6 ha) [1]. En France, le réseau Cultive, qui déploie sa méthode, vise des objectifs similaires [4].



Fig. 5. – L’équipe de la ferme en production. Crédit : Le Jardinier-Maraîcher



Fig. 6. – Planches en production — maraîchage bio-intensif. Source : Reporterre

**Regard critique — les chiffres Fortier ne sont pas reproductibles sans conditions similaires.** Les maraîchers nouvellement installés en France rapportent des réalités plus rudes [5] :

- Semaines de **80 heures** sans salaire garanti les premières années
- Revenus de **450 €/mois** malgré un travail épuisant pour les nouveaux installés

- Pénibilité physique élevée : désherbage prolongé, postures difficiles, port de charges

L'étude INRAE/AgroParisTech (2017) confirme que la viabilité économique est **possible mais fragile**, dépendant de la qualité de la commercialisation, du volume AMAP et de l'organisation du travail [6].

### I.1.8 Pertinence pour les parcelles Canopée

Les parcelles Canopée (320–700 m<sup>2</sup>) sont **idéalement dimensionnées** pour appliquer la méthode Fortier à l'échelle familiale, sans pression de rentabilité.

Paramètre	Parcelle 700 m <sup>2</sup>
Planches 75 cm x 20 m réalisables	≈ 28–32 planches
Surface cultivée nette (hors allées)	≈ 420 m <sup>2</sup> (60 %)
Familles en rotation (cycle 4 ans)	6–8 familles
Légumes cultivables simultanément	30 à 50 espèces
Investissement initial estimé	< 1 000 € (compost + grelinette + voiles)

#### Adaptations recommandées :

- **Objectif revu** : autosuffisance légumière + échanges entre membres, pas de visée commerciale
- **Chantiers collectifs** : mise en place des planches et paillage — tâches physiquement exigeantes à mutualiser
- **Matériel partagé** : un motoculteur commun aux jardins du même terrain économise l'investissement individuel
- **Formations** : ateliers « plan de culture annuel » et « construction de planche permanente » à intégrer dans le programme Canopée

## I.2 Céréales anciennes

La méthode Fortier couvre les légumes maraîchers à rotation rapide. Pour une autonomie alimentaire plus complète, ces légumes sont complétés par des céréales — source de glucides complexes, de protéines végétales et de farines à moudre soi-même. Canopée expérimente plusieurs variétés anciennes sur ses parcelles, en cohérence avec sa politique semencière d'autonomie.

### I.2.1 Pourquoi cultiver des céréales anciennes ?

*[À développer — biodiversité, adaptation aux sols locaux, autonomie en semences.]*

### I.2.2 Espèces cultivées à Canopée

*[À développer — épeautre, engrain, petit épeautre, seigle... Liste à compléter selon les essais menés sur les parcelles.]*

### I.2.3 De la culture à la farine : transformation et stockage

[À développer — récolte manuelle ou mécanisée, battage, mouture, conservation.]

- Moulins type « Astrié » qui « déroulent » le grain sans le broyer excessivement, préservant ainsi les qualités intrinsèque du grain et permettant de produire des farines complètes ou semi-complètes selon le réglage du moulin.

(à l'opposé : moulins industriels à marteaux qui broient le grain en poudre fine, perdant ainsi une partie des nutriments et de la saveur.)

## I.3 Organisation des parcelles

Les principes agronomiques décrits ci-dessus — planches permanentes, successions culturales, rotations par familles botaniques — se déploient concrètement sur les quatre terrains de l'association. La connaissance de leur configuration, du calendrier cultural et des équipements partagés est le socle opérationnel de tout jardinier Canopée.

### I.3.1 Répartition des jardins

Les quatre terrains de Canopée totalisent 20 700 m<sup>2</sup> répartis en 35 jardins de 320 m<sup>2</sup> à 700 m<sup>2</sup> selon la parcelle.

Terrain	Surface/jardin	Nb jardins
A — Parcelle Est (Puget)	700 m <sup>2</sup>	10
B — Parcelle Ouest (Puget)	320 m <sup>2</sup>	10
C — Spot Durance (Puget)	700 m <sup>2</sup>	10
D — Borrys	700 m <sup>2</sup>	5

### I.3.2 Calendrier cultural — planification des successions

Un plan de culture annuel est indispensable pour tirer parti des successions. Le calendrier ci-dessous donne une vue d'ensemble des périodes de culture indicatives pour les légumes cultivés sur les parcelles Canopée (région méditerranéenne, zone 8b) :

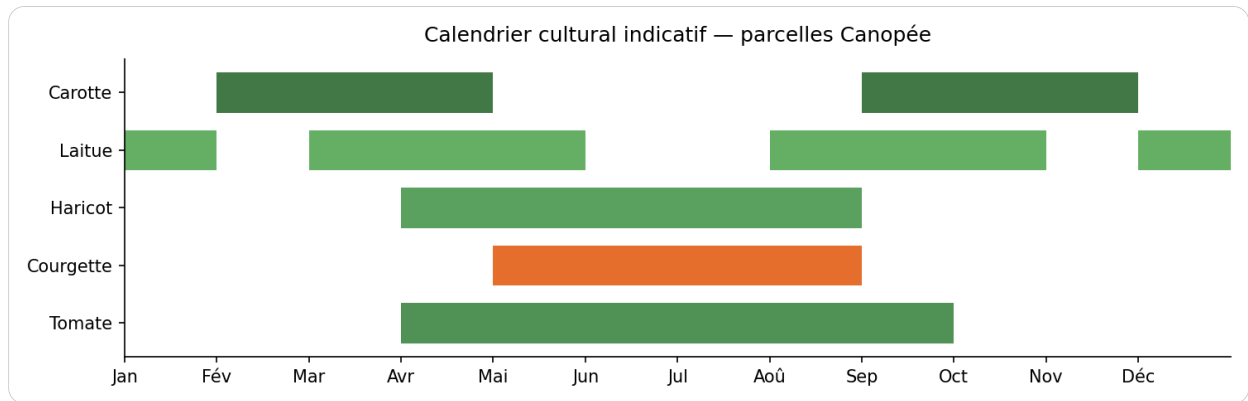


Fig. 7. – Calendrier culturel indicatif pour les parcelles Canopée (Puget, région PACA). Les périodes de culture sont adaptées au climat méditerranéen et peuvent varier selon l'altitude, l'exposition et l'année. Les barres représentent la présence en planche (de la plantation à la récolte finale).

Ce calendrier illustre plusieurs points clés pour la gestion des jardins Canopée :

- **Laitue et épinards** sont présents sur deux fenêtres (printemps et automne) — ce sont les cultures de rotation idéales entre les productions d'été.
- **Tomate et courgette** occupent les mois chauds de juin à septembre ; leur planche est libre 8 mois sur 12, ce qui permet une succession printemps (épinards) et une succession automne (mâche ou radis).
- **Carotte** a une double fenêtre utile : semis de printemps (mars–juin) et semis d'automne (août–octobre) — deux cultures par an sur la même planche.
- En hiver (décembre–février), seules la laitue et la carotte peuvent être maintenues sans protection. Les voiles de forçage prolongent de 3 à 5 semaines la saison de chaque côté.

Ce calendrier est un point de départ. Chaque jardinier doit l'adapter à son micro-climat, à l'exposition de sa parcelle et à ses préférences. Un journal de culture (dates réelles de plantation, rendement, ravageurs observés) est l'outil le plus précieux pour affiner les plannings d'une année sur l'autre.

### I.3.3 Services collectifs

Les jardins Canopée bénéficient d'équipements partagés entre jardiniers d'un même terrain :

- **Motopompe commune** sur le terrain Durance (réseau d'irrigation — voir Annexe technique Chapitre I.4.2)
- **Cabanes de jardin** individuelles (5 m<sup>2</sup>, 2,5 × 2 m) pour le stockage des outils
- **Matériel partagé** à organiser : motoculteur, broyeur à végétaux, balance de marché

[À compléter — modalités de réservation du matériel partagé, entretien collectif, gestion des conflits d'usage.]

## I.4 Pratiques agroécologiques

Le respect du sol et de l'écosystème est au cœur de la démarche Canopée. Cette section pose le cadre commun à tous les jardiniers : règles d'utilisation des intrants, fertilisation organique et gestion raisonnée de l'eau. Elle s'articule avec la section suivante (*Amendements biologiques et biostimulants*) qui détaille la production sur site de biochar, purins et LiFoFer.

### I.4.1 Ce qui est autorisé et interdit

L'utilisation de **pesticides, herbicides et engrais de synthèse** est strictement interdite sur toutes les parcelles Canopée. Tout manquement peut entraîner la résiliation du bail.

*[À développer — liste des intrants autorisés, produits naturels homologués AB, fertilisation organique.]*

### I.4.2 Compostage et fertilisation

Le biochar, les purins de plantes et le LiFoFer sont traités en détail dans la section *Amendements biologiques et biostimulants* ci-dessous.

*[À développer — compostage individuel et collectif, fumier, engrais verts.]*

### I.4.3 Gestion de l'eau

#### I.4.3.1 Arrosage raisonné

Réduire les besoins en eau est prioritaire sur l'augmentation du débit. En maraîchage bio-intensif, trois leviers réduisent la consommation de 40 à 60 % :

- **Paillage permanent** — couche de 8 à 15 cm de BRF, paille ou foin maintient l'humidité, limite l'évaporation directe et régule la température du sol.
- **Irrigation au pied** — goutte-à-goutte ou asperseurs au sol plutôt qu'aspersion aérienne (pertes par évaporation divisées par 3).
- **Arrosage aux heures fraîches** — le soir ou tôt le matin, jamais en plein soleil.

#### I.4.3.2 Récupération des eaux de pluie

*[À développer — cuves enterrées ou hors-sol, dimensionnement selon surface de toiture et pluviométrie locale ( 620 mm/an à Puget), raccordement aux bassins de rétention potentiels sur les terrains A et D.]*

#### I.4.3.3 Réseau d'irrigation collectif — parcelle Durance (terrain C)

Le terrain C (40 × 200 m, parcelle Durance) est irrigué par un réseau autonome : motopompe diesel sur prise d'eau Durance, nourrice PEHD DN63 sur toute la longueur de la parcelle, rampes avec asperseurs autorégulants.

Ce réseau a fait l'objet d'un dimensionnement hydraulique paramétrique complet, synthétisé en Chapitre I.4.2. Les conclusions principales :

- Une nourrice **DN63** (Ø int. 55,4 mm) est nécessaire sur les longues longueurs (200 m) — le DN32 dissipe trop de charge à débit élevé.
- Les asperseurs **autorégulants** (5 L/min, seuil d'activation 0,9 bar) garantissent l'uniformité d'arrosage indépendamment des variations de pression amont.
- Plusieurs configurations de rampes ont été testées et validées — voir Chapitre I.4.2 pour le détail des scénarios et la méthode de calcul.

## I.5 Amendements biologiques et biostimulants

Les élagages et la gestion de la végétation sur les terrains Canopée ne sont pas des déchets : ils constituent la matière première de trois amendements biologiques produits en autonomie — **biochar**, **vinaigre de bois** et **purins de plantes**. Tous trois renforcent la fertilité des sols, remplacent partiellement les intrants phytosanitaires et s'inscrivent dans une logique de cycle fermé. Leur production repose sur un **four de carbonisation mobile** qui transforme les branches d'élagage en charbon végétal, tout en récupérant le vinaigre de bois comme co-produit.

### I.5.1 Principe de la pyrolyse — trois sorties utiles

La carbonisation du bois en atmosphère confinée (pyrolyse à 400–600 °C) produit :

Sortie	Fraction	Usage
<b>Biochar</b> (charbon végétal)	25–35 % masse	Amendement sol longue durée (voir §ci-dessous)
<b>Vinaigre de bois</b> (acide pyroligneux)	5–10 % volume	Biostimulant, fongicide, activateur de biochar — voir §ci-dessous
<b>Syngas</b> de pyrolyse (CO + H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> )	40–55 % énergie	Chauffage du four en boucle fermée + excédent valorisable en électricité (voir Partie II)
Cendres et fines	< 5 %	Épandage direct — source de potasse et calcium

En boucle fermée, le syngas assure l'autarcie thermique du four. La valorisation électrique de l'excédent est secondaire — elle est traitée dans la Partie II (gazogène Bernard).

#### I.5.1.1 Les fours mobiles BioAgriGroup / Carbon Offset Zone

Les modèles commerciaux de [Carbon Offset Zone](#) (Series II et III) et leur version améliorée distribuée par [BioAgriGroup](#) (Afrique du Sud) sont des **fours mobiles de pyrolyse** développés pour valoriser les déchets de biomasse forestière et agricole sur site [7], [8].

**Avantage principal – La mobilité :** le four est transportable sur une remorque ou un plateau de camion. On va à la matière première plutôt que d’acheminer des tonnes de bois. En PACA, les gisements de broyats d’élagage sont nombreux et dispersés : haies, vignes, vergers, bords de route, forêts de pin maritime. Le four mobile permet de traiter un gisement, de produire biochar et vinaigre de bois sur place, de récupérer les cendres, et de déplacer l’unité vers le gisement suivant.



Fig. 8. – Four Series III – BioAgri-Group / Carbon Offset Zone. Unité mobile de pyrolyse en acier, conçue pour la valorisation de biomasse forestière sur site.



Fig. 9. – Unité mobile de pyrolyse COZ – configuration sur remorque. Le four peut être déplacé d’un gisement de biomasse à l’autre en PACA.



Fig. 10. – Réacteur mobile de biolyse – vue d’ensemble avec circuit de récupération du vinaigre de bois et sortie gaz.

**Contraintes de ces modèles pour le projet Canopée :**

Contrainte	Impact
<b>Production par lots</b> (batch)	Pas de fourniture continue de syngas – le four de carbonisation et le gazogène JXQ-10A utilisent des granulométries différentes et ne peuvent être couplés directement. Les deux technologies sont complémentaires plutôt que substituables (voir § Complémentarité ci-dessous).
<b>Granulométrie du combustible</b>	Ces fours fonctionnent avec des bûches et morceaux > 5 cm. Les plaquettes fines (< 3 cm) sont réservées au gazogène – la répartition de la biomasse entre les deux filières est donc naturelle.
<b>Prix commercial</b>	Ces unités restent onéreuses (plusieurs milliers d’euros). L’alternative : construire un four artisanal type <b>Adam retort</b> [9] (plans FAO disponibles gratuitement) pour une fraction du coût.

**Alternative pour les plaquettes fines et la production continue** : les gazogènes chinois type **pyrolyseur continu à vis sans fin** acceptent des particules de 1–5 cm et produisent du biochar + syngas en continu, mais à un prix supérieur (10 000–30 000 €).



Fig. 11. – Four de pyrolyse rotatif en continu ≈ 15 000 \$ (hors acheminement & douanes) — source : Alibaba. Ce type de four semble prometteur mais les coûts de fonctionnement semblent élevés. L'injection de syngas en cours de carbonisation n'est pas indiquée, ni la récupération de vinaigre de bois. La mobilité n'est plus assurée et il faut un hangar dédié.

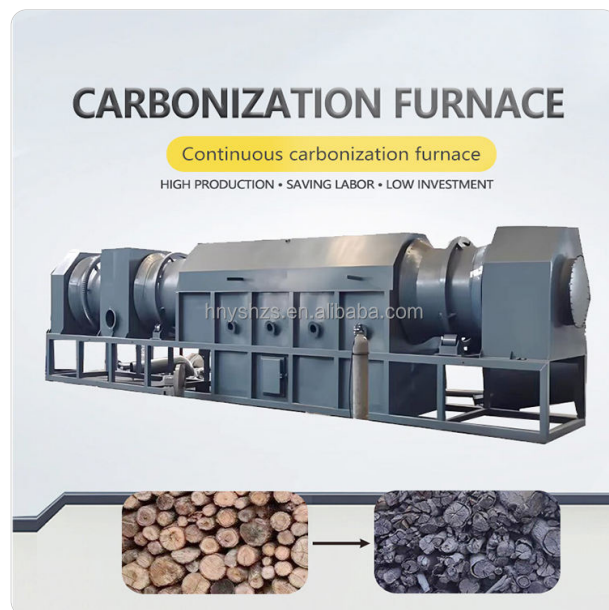


Fig. 12. – idem

### I.5.2 Vinaigre de bois — co-produit précieux

Le **vinaigre de bois** (ou acide pyroligneux) est le condensat liquide brunâtre récupéré sur le circuit de fumées lors de la pyrolyse à 200–300 °C. Sa composition est complexe : acide acétique (3–6 %), phénols, alcools, cétones, furans. Il est utilisé depuis des siècles en agriculture japonaise traditionnelle (*mokusaku*) [10].

Usage	Dilution	Effet observé
Biostimulant racinaire	0,1–0,3 %	Stimule la germination et la croissance racinaire précoce
Fongicide foliaire	1–2 %	Efficace contre mildiou, oïdium, alternaria (validé AB)
Répulsif insectes	1–3 %	Pulvérisation foliaire ; odeur repoussante pour pucerons
Activation du biochar	Pur ou 10 %	Charge les pores en composés organiques et acides humiques
Dés herbant de contact	5–10 %	Brûle les adventices par acidification (usage ciblé)

Ne jamais utiliser le vinaigre de bois brut non dilué sur les plantes — il est très acide (pH 2–3) et brûlant. Laisser vieillir 3 à 6 mois avant usage agricole (le vieillissement dégrade les composés les plus toxiques).

### I.5.3 Biochar — granulométrie et épandage

La taille des particules de biochar conditionne fortement son efficacité en sol de maraîchage [11] :

Granulométrie	Application	Effet principal
< 1 mm	Mélange terreaux, godets de plantation	Mélange homogène, libération rapide des nutriments
1-2 mm	<b>Fond de jauge, amendement planche</b>	<b>Bon équilibre surface/rétention — recommandé en maraîchage</b>
2-4 mm	<b>Sol de plein champ, planche permanente</b>	<b>Rétention d'eau optimale, aération racinaire — standard professionnel</b>
5-15 mm	Sous-sol argileux, drainage	Aération structurelle, décompaction
> 15 mm	Sols très compacts, très argileux	Réservoir hydrique de long terme

**Dose recommandée pour les planches Canopée :** 300–330 kg/ha en fond de jauge lors de la création d'une planche permanente, incorporé sur 15–20 cm. Résultats documentés : +20 % de rendement sur carottes, +36 % de germination sur tomates [12].

### I.5.4 Activation du biochar avant épandage

Le biochar frais de pyrolyse est **vierge** : ses pores sont vides et très adsorbants. Épandu directement, il **capte les nutriments du sol** au détriment des plantes pendant plusieurs semaines — effet négatif à court terme. Il doit être **activé** (ou « chargé ») avant toute application.

**Activation du biochar :** opération consistant à imprégner les pores du biochar de nutriments, de micro-organismes et de composés organiques **avant** son intégration au sol, afin qu'il soit immédiatement bénéfique pour la culture.

#### Protocole d'activation à Canopée :

1. **Concassage et tamisage** au diamètre cible (1–4 mm) — un marteau ou un broyeur suffit pour du biochar friable
2. **Humidification** — mouiller le biochar (il est naturellement hydrophobe à l'état frais) avec un arrosoir
3. **Chargement en nutriments** — immerger dans un purin dilué, du thé de compost ou du LiFoFer dilué à 15 % pendant **24 à 72 h** (voir §ci-dessous)
4. **Maturation en compostière** — mélanger 50/50 biochar chargé + compost mature, laisser 2 à 4 semaines
5. **Épandage** et incorporation en fond de planche

Le vinaigre de bois dilué à 10 % peut remplacer ou compléter le purin dans l'étape de chargement — il apporte des acides organiques qui acidifient légèrement et favorisent l'activité fongique.

### I.5.5 Purins de plantes et LiFoFer

Les purins (extraits fermentés de plantes) et le LiFoFer sont des **biostimulants** produits sur place à partir de ressources disponibles gratuitement sur les terrains Canopée. Ils servent à la fois à l'activation du biochar, à l'arrosage des planches et à la pulvérisation foliaire.

#### I.5.5.1 Purin d'ortie (*Urtica dioica*)

**Propriétés** : stimulant général, riche en azote (N), fer, silice. Renforce les défenses naturelles des plantes, accélère la croissance végétative.

**Recette** : 1 kg d'orties fraîches hachées (ou 100–200 g sèches) dans 10 L d'eau de pluie. Macérer à l'ombre 8–15 jours en remuant quotidiennement. Filtrer dès que la mousse disparaît et que le liquide est sombre et sans odeur de fermentation active.

**Usages** : dilué à 5 % (50 mL/L) en arrosage toutes les 2 semaines sur légumes feuilles ; dilué à 2 % en pulvérisation foliaire. Excellent activateur de biochar (trempage 24 h).

#### I.5.5.2 Purin de consoude (*Symphytum officinale*)

**Propriétés** : riche en potassium (K), calcium, magnésium. Favorise la floraison, le calibre des fruits et légumes-racines, accélère la décomposition du compost.

**Recette** : 1 kg de feuilles fraîches de consoude dans 10 L d'eau. Macérer 3–4 semaines (fermentation plus lente, odeur forte). Filtrer.

**Usages** : dilué à 5 % en arrosage au pied des tomates, poivrons, courgettes en période de fructification ; en trempage du biochar pour l'enrichir en K.

#### I.5.5.3 Purin de prêlé (*Equisetum arvense*)

**Propriétés** : très riche en silice (SiO<sub>2</sub> 70 %). Renforce les parois cellulaires, résistance mécanique aux champignons, action anti-oïdium.

**Recette** : faire bouillir 30 min 300 g de prêlé sèche dans 3 L d'eau → laisser infuser 12 h → diluer à 10 L. Alternative : macérer 15 jours à froid (moins efficace).

**Usages** : pulvérisation foliaire à 5–10 % en prévention des maladies fongiques, surtout sur cucurbitacées et brassicacées.

#### I.5.5.4 LiFoFer (Litière Forestière Fermentée)

Le **LiFoFer** est un inoculant microbien liquide produit par lacto-fermentation de litière forestière. Il apporte au biochar — et plus généralement au sol — la diversité biologique d'un écosystème forestier mature : bactéries lactiques, champignons saprophytes, levures et champignons mycorhiziens. Son pH bas (3,5–4,2) le rend naturellement exempt d'agents pathogènes [13], [14].

**Fabrication pour 20 L :** 5 kg de litière forestière fraîche (feuilles humides, humus de surface) + 1 kg de son de blé + 1 L de mélasse de canne + 1 L de lactosérum + 10 L d'eau non chlorée. Fermer hermétiquement, aérer quotidiennement les 3 premiers jours, puis laisser fermenter de façon anaérobie à 20–25 °C pendant **3 à 4 semaines**. Le produit est prêt quand l'odeur est aigre-douce (jamais putride) et le pH entre 3,5 et 4,2. Filtrer et conserver en bidon étanche à l'abri de la chaleur.

**Usage pour l'activation du biochar :** immerger le biochar dans le LiFoFer dilué à 10–20 % pendant 24 à 48 h. L'acidité et la charge microbienne colonisent les pores, substituant la diversité forestière à la quasi-stérilité du biochar frais de pyrolyse.

**Autres usages sur les parcelles Canopée :**

- **Apport au sol** avant plantation : 10–15 L/100 m<sup>2</sup>, non dilué
- **Pulvérisation foliaire** : dilué à 5 %, toutes les 2 semaines
- **Accélérateur de compost** : 20 % du volume lors des retournements
- **Trempage de semences** : dilution 5 %, 2 h avant semis

Liquide d'activation	Dilution trempage	Apport principal
Purin d'ortie	non dilué	N, Fe, silice — croissance végétative
Purin de consoude	non dilué	K, Ca, Mg — fructification
Purin de prêle	non dilué	SiO <sub>2</sub> — résistance fongique
Thé de compost	non dilué	Microbiome complet — inoculation mycorhizienne
Vinaigre de bois	10 %	Acides organiques, phénols — activité fongique
LiFoFer	10–20 %	Microbiome forestier — bactéries lactiques, champignons saprophytes, mycorhizes
Mélasse de canne	1–2 %	Carbone soluble — boost microbien

**I.5.6 Complémentarité avec le projet gazogène (Partie II)**

Le schéma intégré Canopée valorise la biomasse forestière en **deux flux complémentaires** selon la granulométrie :

**Biomasse d'élagage (PACA — quasi-gratuit)**

- └ **Branches > 5 cm** → **Four de carbonisation mobile** (Adam retort / BioAgriGroup)
- | └ **Biochar** → activé aux purins → épandage planches permanentes → +20–36 % rendements
- | └ **Vinaigre de bois** → biostimulant, fongicide, activateur de biochar
- | └ **Syngas excédentaire** (batch) → valorisation ponctuelle possible |

- └ **Plaquettes 2-5 cm** → **Gazogène JXQ-10A** (voir Partie II)
- └ **Syngas continu** → **moteur Bernard** → **électricité**

### **Pourquoi ces deux technologies ne peuvent-elles pas être couplées directement ?**

Le four de carbonisation fonctionne en mode **batch** avec du bois en morceaux > 5 cm ; il ne peut pas alimenter en continu le gazogène JXQ-10A qui requiert des plaquettes de 2-5 cm. La complémentarité est de nature : les rémanents d'élagage grossiers vont au four, les broyats fins au gazogène – **un seul gisement de biomasse, deux chaînes de valorisation sans concurrence de matière première.**

Le projet gazogène-Bernard et ses contraintes techniques sont détaillés dans la Partie II.

## **I.6 Formations et partage de savoir**

*[À développer – calendrier des ateliers pratiques, intervenants, thèmes traités (semis, greffage, taille, conservation des légumes, sauvetage de semences...)]*

## **I.7 Choix de Canopée – résilience alimentaire**

Les techniques décrites dans cette partie forment un panorama. Voici ce que Canopée retient concrètement, et selon quelle logique économique.

<b>Solution</b>	<b>Statut</b>	<b>Logique économique</b>
Maraîchage bio-intensif (méthode Fortier adaptée)	Retenu – immédiat	Investissement < 1 000 €/parcelle (compost, grelinette, voiles) ; objectif autosuffisance, pas de visée commerciale
Amendements produits sur site (biochar activé, purins, LiFoFer)	Retenu	Matière première gratuite (élagage, orties, consoude, litière forestière) ; remplace les intrants achetés
Four de carbonisation artisanal (type Adam retort)	Retenu – projet	Plans FAO gratuits ; préféré aux fours commerciaux (Bio-AgriGroup / COZ) jugés trop onéreux
Céréales anciennes	En expérimentation	Surface et matériel de transformation à mutualiser ; montée en charge progressive

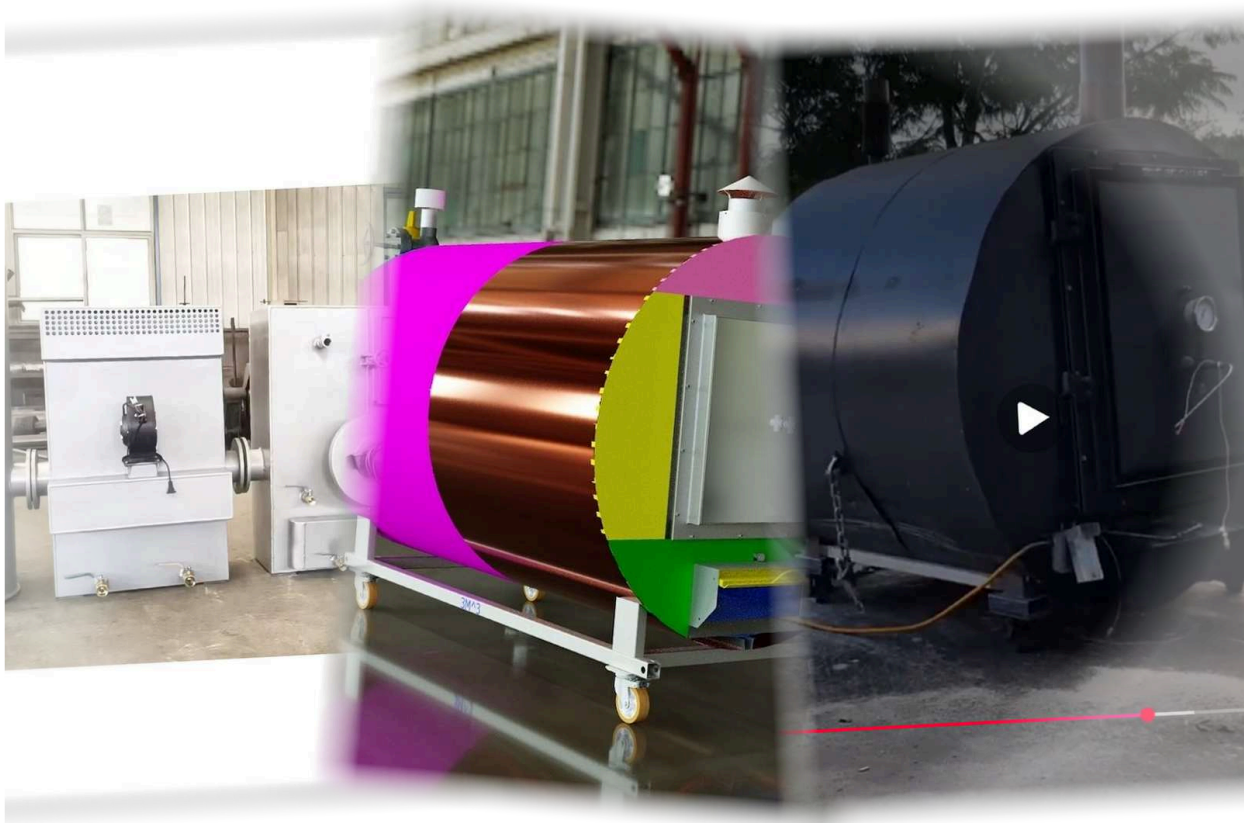
Solution	Statut	Logique économique
Pyrolyseur continu à vis / four mobile commercial	Écarté pour l'instant	10 000-30 000 € : hors de portée tant que le four artisanal suffit

**En résumé**, Canopée privilégie partout la **valorisation des ressources gratuites du site** (matière organique d'élagage, plantes spontanées, litière forestière) et l'**outillage mutualisé** (motoculteur, broyeur), de façon à maintenir l'investissement individuel par parcelle sous la barre des 1 000 €. La rentabilité professionnelle du modèle Fortier n'est pas l'objectif : la boussole est l'autosuffisance alimentaire à coût d'entrée minimal.

PARTIE II

# Autonomie énergétique

*Solutions durables pour produire et utiliser l'énergie : huile végétale comme carburant, gazogène pour groupes électrogènes, éolienne Piggot, fours solaires. Un panorama des technologies expérimentées ou en projet à Canopée.*



Cette partie recense les technologies que Canopée expérimente ou envisage pour réduire sa dépendance aux énergies fossiles. Elles sont présentées par source et par usage : la **biomasse** en premier (huile végétale comme carburant, gazogène pour l'électricité), qui valorise les ressources disponibles sur les terrains ; puis le **vent** (éolienne Piggot) et le **soleil** (fours solaires) ; enfin la **chaleur bois accumulée** (poêles de masse). Une feuille de route intégrant ces technologies est proposée en clôture de partie.

## II.1 Huile végétale comme carburant

### II.1.1 Principe et contexte

Les moteurs diesel anciens (antérieurs aux normes d'injection haute pression Common Rail, soit les moteurs antérieurs aux années 2000 environ) peuvent fonctionner à l'huile végétale pure (HVP) sans modification majeure. La viscosité de l'HVP est plus élevée que celle du gazole à froid, mais elle chute suffisamment à chaud pour permettre une injection correcte sur les moteurs à préchambre ou à chambre de turbulence.

Canopée expérimente cette filière pour ses véhicules et machines agricoles (tracteur, motopompe). L'intérêt est triple : coût inférieur, bilan CO<sub>2</sub> quasi nul, et autonomie vis-à-vis des filières fossiles.

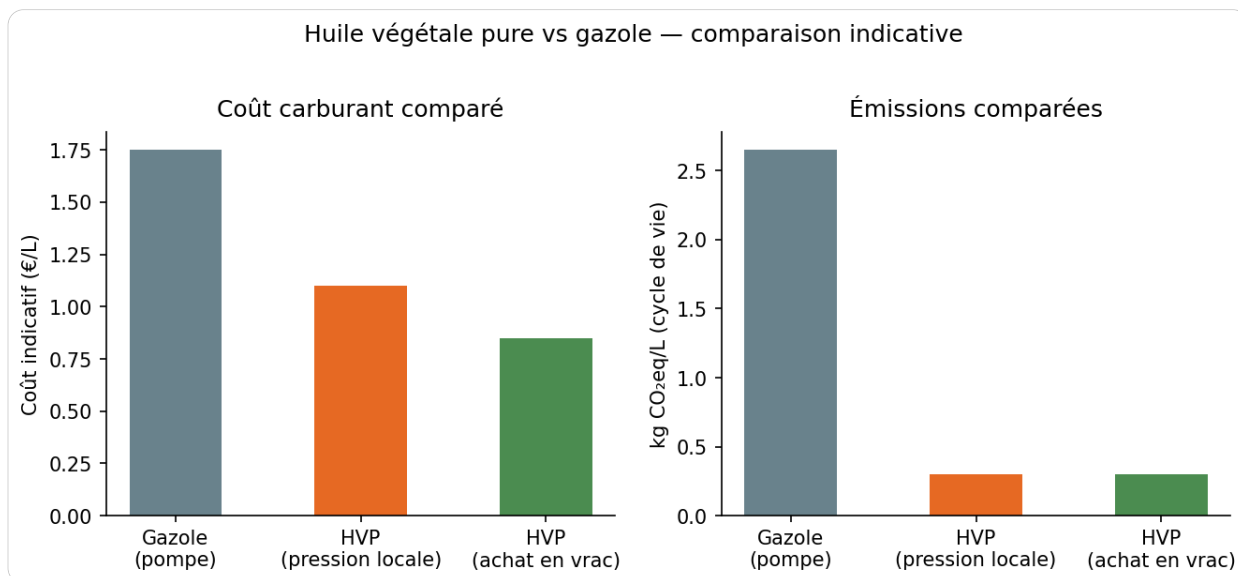


Fig. 13. – Comparaison huile végétale pure (HVP) vs gazole — coût indicatif au litre et bilan carbone en cycle de vie simplifié. À 2 €/L à la pompe, le gazole est nettement plus cher que l'HVP : la pression locale (tournesol ou colza) revient autour de 1 €/L, et l'**achat de tournesol en vrac en Turquie descend à 0,30 €/L** — soit 85 % moins cher que le gazole — pour des émissions de CO<sub>2</sub> réduites d'environ 90 %.

**Moteurs compatibles HVP** : les moteurs à injection indirecte (préchambre, chambre de turbulence) des véhicules et engins des années 1980-2000 sont les plus adaptés. Les injections directes haute pression (Common Rail) requièrent une modification plus substantielle ou une préchauffe de l'huile. **Points de vigilance** :

- **Viscosité à froid** — ne pas démarrer à l'HVP pure sous 15 °C ; préférer un démarrage au gazole puis basculement HVP une fois le moteur chaud (ou installer un circuit de préchauffe)
- **Qualité de l'huile** — teneur en eau < 0,1 % et acidité faible sont critiques ; une filtration soigneuse est indispensable
- **Entretien** — changer le filtre à carburant plus fréquemment et contrôler les injecteurs

### II.1.2 Transformation et filtration

[À développer — filtration de l'huile récupérée, décantation, valeurs cibles de viscosité et d'humidité.]

### II.1.3 Retours d'expérience à Canopée

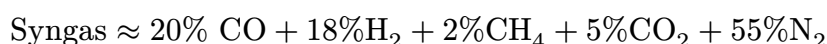
[À développer — matériels utilisés, kilomètres ou heures de fonctionnement, incidents rencontrés, économies réalisées.]

## II.2 Gazogène

L'huile végétale permet de substituer un carburant fossile liquide par un carburant renouvelable sur les moteurs existants. Pour la **production d'électricité**, c'est le gazogène qui constitue la voie la plus pertinente à Canopée : il valorise les plaquettes forestières issues des travaux d'élagage — un combustible gratuit — en syngas alimentant un groupe électrogène.

### II.2.1 Principe de la gazéification

Le gazogène (ou *gasifier*) convertit une biomasse solide (bois, plaquettes, coques de noix...) en **gaz de synthèse combustible** — appelé syngas ou gaz de producteur — par réaction thermochimique à haute température (700-1 000 °C) en atmosphère appauvrie en oxygène. Le syngas produit est un mélange de :



Son **pouvoir calorifique inférieur** (PCI) est d'environ 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup>, soit 3 à 5 fois plus faible que le gaz naturel (37 MJ/Nm<sup>3</sup>) ou le propane (93 MJ/Nm<sup>3</sup>).

#### II.2.1.1 Le gazogène co-courant (downdraft) — technologie retenue

Pour la production d'électricité à petite échelle, le **gazogène à lit fixe co-courant** (downdraft) est la seule technologie économiquement viable et suffisamment propre pour alimenter un moteur à explosion. La biomasse descend par gravité pendant que l'air circule dans le même sens (vers le bas), ce qui force les goudrons à passer par la zone de combustion à 1 000 °C où ils se craquent partiellement.

Type	Co-courant (downdraft)	Contre-courant (updraft)
Goudrons dans le gaz	Faible (< 1 g/Nm <sup>3</sup> )	Élevé (10-150 g/Nm <sup>3</sup> )

Type	Co-courant (downdraft)	Contre-courant (updraft)
Usage moteur	✓ Compatible direct	✗ Nécessite filtration lourde
Humidité biomasse max	20–25 %	50 %
Complexité	Moyenne	Simple
Référence	Imbert, JXQ-10A	Gazogènes de chauffage

## II.2.2 Projet Canopée – production électrique sur plaquettes d'élagage

### II.2.2.1 Concept

Canopée envisage l'installation d'un **gazogène fixe de type co-courant** couplé à un **groupe électrogène à moteur Bernard monocylindre** (20 kVA nominaux essence) pour produire de l'électricité en autonomie, en valorisant les **plaquettes forestières issues des travaux d'élagage** sur les terrains et les parcelles environnantes – un combustible quasi-gratuit qui représente autrement un déchet à broyer ou brûler.

### II.2.2.2 Gazogène commercial retenu – JXQ-10A (Green Power Kexin)

Le modèle commercial JXQ-10A de Qingdao Kexin (Chine) est un gazogène co-courant à lit fixe développé spécifiquement pour les petits groupes électrogènes de 5 à 20 kW. Ses caractéristiques indicatives (à confirmer auprès du fabricant) :

Paramètre	Valeur indicative (classe 10 kW)
Puissance gaz disponible	25–35 kW thermique
Biomasse compatible	Plaquettes bois sec, taille 2–5 cm, humidité < 20 %
Consommation biomasse	4–6 kg/h à charge nominale
Autonomie du trémie	4–8 h selon capacité
Démarrage à froid	15–20 min de purge avant lancement du moteur
Température sortie gaz	70–100 °C (après refroidisseur)
Filtration incluse	Cyclone + filtre sec ou humide selon version
Pays fabricant	Chine (Qingdao Kexin – contact : greenpowerkexin.com)

Ces données sont indicatives et basées sur des systèmes similaires de même classe. Demander la fiche technique complète et un retour d'expérience d'installation avant achat. Des alternatives documentées existent (voir §Alternatives ci-dessous).



Fig. 14. - Gazogène co-courant de type JXQ — vue d'ensemble du réacteur et du groupe électrogène intégré



Fig. 15. - Détail du système de filtration et refroidissement du syngas avant admission moteur



Fig. 16. - Unité compacte gazogène + alternateur — configuration typique micro-production électrique

### II.2.2.3 Moteur Bernard — adaptation au syngas

Les moteurs **Bernard** (marque française, moteurs monocylindres à refroidissement par air, cycle Otto) sont des moteurs à essence classiques robustes, abondants en occasion, qui équipaient pompes, tondeuses, groupes électrogènes agricoles. Ils sont **adaptables au syngas** sans modification majeure, à la différence des moteurs diesel qui nécessitent une co-alimentation (20–30 % de diesel).

#### Modifications nécessaires :

- **Carburateur** : remplacé par un mélangeur air/syngas réglable (venturi simple, 50–100 €)
- **Avance à l'allumage** : à avancer de 5–10° par rapport au réglage essence (le syngas a une vitesse de flamme plus lente)
- **Rapport de compression** : idéalement augmenté à 9:1–11:1 (le syngas est anti-détonant) ; sur un Bernard existant, généralement conservé tel quel

**Perte de puissance attendue** : le PCI du syngas étant 3 à 5 fois inférieur à celui de l'essence, la puissance développée chute de **30 à 50 %**. Un groupe nominale 20 kVA essence produira vraisemblablement **10 à 14 kVA sur syngas** — suffisant pour l'alimentation d'un atelier ou d'équipements agricoles de terrain.

### II.2.2.4 Combustible : plaquettes forestières d'élagage

Les travaux d'élagage sur les parcelles Canopée et les abords forestiers produisent des rémanents (branches, rameaux) que le broyage transforme en **plaquettes forestières** — un combustible gratuit dont la seule contrainte est le séchage.

Paramètre	Valeur cible
Taille des plaquettes	2–5 cm (±1 cm) — calibre homogène
Humidité avant gazéification	< 20 % (séchage à l'air 6–12 mois)
Granulométrie régulière	Obligatoire — éviter les fines (sciure) et les pièces > 6 cm
Essences compatibles	Toutes essences locales (chêne, pin, peuplier...)

Paramètre	Valeur cible
Rendement estimé (1 kg → kWh élec.)	0,7 kWh/kg (efficacité globale 15-18 %)

**Règle pratique** : pour produire 1 kWh électrique, il faut environ **1,2 à 1,5 kg de bois sec** (source : energypedia.info). Avec un groupe de 10 kW tournant 4 h/jour, la consommation journalière est de **50-60 kg de plaquettes sèches** – l'équivalent d'une brouette bien chargée.

### II.2.2.5 Dimensionnement indicatif du projet

Paramètre	Estimation
Puissance électrique disponible (syngas)	10-14 kW
Consommation bois à pleine charge	5-7 kg/h de plaquettes sèches
Énergie produite (4 h/jour, 10 kW)	40 kWh/j
Consommation journalière bois	50-60 kg
Surface de stockage pour 1 mois	1,5-2 t de plaquettes ≈ 5-7 m <sup>3</sup> sous abri
Coût approximatif du système	Gazogène 3 000-6 000 € + adaptation moteur 300-600 €

### II.2.3 Biochar, vinaigre de bois et amendements biologiques

La biomasse d'élagage produite sur les terrains Canopée est valorisée en deux flux complémentaires : les plaquettes fines (2-5 cm) alimentent le gazogène JXQ-10A décrit ci-dessus, tandis que les branches plus grosses (> 5 cm) sont destinées à un **four de carbonisation mobile** qui produit biochar, vinaigre de bois et purins pour les jardins.

Ces techniques – fabrication et activation du biochar, purins de plantes (ortie, consoude, prêle), LiFoFer – sont traitées en détail dans la **Partie I, section « Amendements biologiques et biostimulants »**.

**Les deux technologies sont complémentaires, pas substituables.** Le four de carbonisation fonctionne en mode batch avec des morceaux > 5 cm – granulométrie incompatible avec le gazogène JXQ-10A (plaquettes 2-5 cm). La complémentarité est de nature : les rémanents d'élagage grossiers vont au four, les broyats fins au gazogène – un seul gisement de biomasse, deux chaînes de valorisation sans concurrence de matière première.

### II.2.4 Avantages

- **Combustible quasi-gratuit** : les plaquettes d'élagage sont des déchets valorisés – coût = broyage + séchage

- **Bilan carbone neutre** : le CO<sub>2</sub> émis est celui absorbé par la biomasse lors de sa croissance
- **Moteur essence adapté facilement** : un Bernard est un moteur simple à carburateur → conversion sans modification lourde
- **Production continue** possible (contrairement au PV solaire), y compris la nuit et par temps couvert
- **Double valorisation** : chaleur récupérable sur le moteur et les gaz d'échappement (CHP)
- **Autonomie complète** vis-à-vis du réseau électrique et des hydrocarbures fossiles
- **Filière locale et circulaire** : déchets verts de Canopée → énergie pour Canopée

### II.2.5 Inconvénients et contraintes

**Le goudron est l'ennemi numéro un du gazogène à moteur.** Même en configuration co-courant, le syngas contient des goudrons résiduels (phénols, crésols) qui se condensent dans les conduites et encrassent carburateur, soupapes et cylindre. La filtration doit être parfaitement dimensionnée et **entretenu rigoureusement** — c'est le facteur principal d'échec des projets amateurs.

Conséquences d'une filtration insuffisante : encrassement des injecteurs/carburateur en quelques heures, bouchage des conduites, usure prématurée des segments et soupapes, arrêt moteur. Nettoyage des filtres **au moins une fois par jour** d'utilisation.

- **Démarrage long** : 15–20 min de purge du gazogène avant de lancer le moteur (le gaz doit être chaud et propre)
- **Perte de puissance** : 30–50 % par rapport à l'essence → surdimensionner le groupe au départ
- **CO toxique** : le syngas contient 20 % de monoxyde de carbone → installation **obligatoirement à l'extérieur ou sous abri ventilé**, détecteur CO obligatoire
- **Qualité du combustible critique** : humidité > 25 %, taille irrégulière ou présence de fines → instabilité de la gazéification, augmentation des goudrons
- **Maintenance intensive** : vidange des cendres quotidienne, nettoyage du cyclone et des filtres fréquent, contrôle hebdomadaire du moteur
- **Réglementation** : installation classée si > certains seuils (se renseigner en mairie) ; assurance spécifique à prévoir
- **Courbe d'apprentissage** : 6 à 12 mois d'expérimentation avant un fonctionnement fiable selon les retours des praticiens français

### II.2.6 Alternatives au projet gazogène-Bernard

Alternative	Puissance	Commentaire
All Power Labs PP30 (USA)	25 kW	Référence mondiale open hardware, très documenté, 25 000 \$
Gazogène DIY type Imbert	1–20 kW	Plans FEMA / FAO disponibles, long à

Alternative	Puissance	Commentaire
		construire, adapté à l'autoconstruction
Gazogène Powermax (Chine)	10-200 kW	Gamme alternative au JXQ-10A, similaire
Biogaz + moteur à gaz	5-20 kW	Méthane de déchets organiques, stockable, mais digestion lente et volume important
Panneaux PV + batteries	3-15 kW	Zéro maintenance, production diurne uniquement, coût en baisse
Raccordement réseau ENEDIS	Illimité	Si faisable géographiquement — la solution la moins complexe

## II.3 Éolienne Piggot

Le gazogène et l'huile végétale exploitent la biomasse locale. Pour diversifier les sources de production électrique et s'affranchir de la disponibilité du combustible bois, le vent constitue une ressource complémentaire. L'éolienne Piggot est la référence mondiale du petit éolien autoconstruit et communautaire.

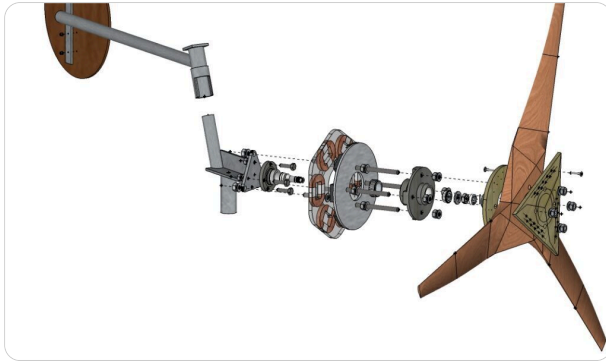


Fig. 17. – Vue en « éclaté » des composants d'une éolienne Piggott – modèle 1,20 m de diamètre. Source : [tripalium.org](http://tripalium.org)



Fig. 18. – En plein fonctionnement. Source : [outils-autonomie.fr](http://outils-autonomie.fr)



Fig. 19. – Éolienne Piggott « le petit prince » de 3,60 m sur mât de 18 m installée à Vielle-Vigne (31)

### II.3.1 Présentation

L'éolienne Piggott est une turbine à axe horizontal conçue par Hugh Piggott (Écosse) pour l'autoconstruction communautaire. Fabriquée localement avec de l'acier ordinaire, des bobinages en cuivre et des pales en bois, elle est entièrement réparable sur place — aucune pièce propriétaire, tout s'usine dans un atelier de base.

**Simple, robuste, fiable** et affichant **d'excellentes performances**, l'éolienne Piggott s'est imposée comme LA référence dans le domaine du petit éolien autoconstruit. **Conçue pour produire avec des vents moyens**, elle est un très bon choix pour l'autonomie électrique sur un site venté.

**Techniquement accessible à tous** (un stage est toutefois vivement conseillé), **l'autoconstruction permet de maîtriser son outil de production** pour l'entretien, les diagnostics et les réparations.

Il existe six modèles de tailles différentes, avec des puissances nominales comprises entre **200 W** et **2 000 W**

#### II.3.1.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une éolienne Piggott est le suivant:

- Le vent entraîne **3 pales sculptées dans du bois** et vernies. La géométrie particulière de ces pales, semblables aux ailes d'un avion, leur permet d'augmenter la vitesse de rotation de l'hélice.
- Cette vitesse de rotation est transmise à deux disques en acier sur lesquels ont été collés des **aimants**, le plus souvent en néodyme, et parfois en ferrite : ce sont les **rotors**.
- Ces aimants passent alors devant des **bobines de cuivre émaillé**, coulées dans la résine : c'est le **stator**. ET c'est ainsi que selon le principe physique d'induction électromagnétique : si un objet qui conduit l'électricité (la bobine) passe dans un champ magnétique variable (l'aimant qui tourne), alors il produit de l'énergie électrique.
- Tout cet équipement est fixé sur une **nacelle** pivotante en acier, dotée d'un **safran** (gouvernail) qui permet à l'éolienne de s'orienter face au vent. Cette nacelle inclut une sécurité mécanique : en cas de vent trop violent, qui pourrait endommager l'éolienne et le circuit électrique, l'hélice pivote jusqu'à être quasiment parallèle au safran, et donc au vent. L'éolienne continue de produire, mais sa vitesse de rotation diminue, car elle n'est plus « face au vent ».
- Les bobines sont ensuite câblées en triphasé et reliées par un câble qui descend le long du **mât** de 12m (ou plus si un permis a été déposé), jusqu'au sol et à l'installation électrique permettant de convertir le signal électrique pour pouvoir l'utiliser dans une installation domestique et le stocker.

L'éolienne commencera à produire à des vents de 3 m/s ( ≈ 10 km/h, ou quand les petites branches des arbres commencent à se mettre en mouvement), et atteindra son pic de production à des vents de 10 m/s (36 km/h, ou quand les arbres penchent).

### II.3.1.2 Courbe de puissance type

La courbe de puissance ci-dessous est celle d'un modèle 1 kW (diamètre de rotor 2,4 m), configuration typique pour un usage associatif ou rural isolé :

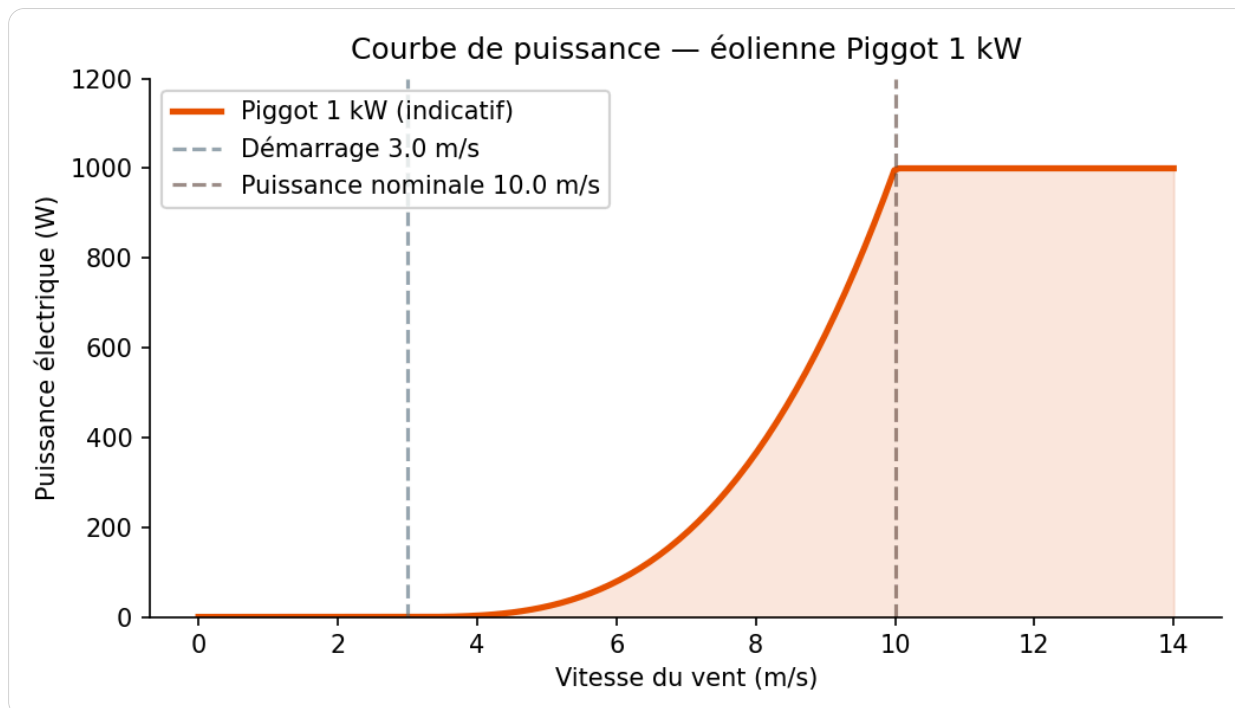


Fig. 20. – Courbe de puissance indicative — éolienne Piggot 1 kW. La puissance nominale est atteinte à 10 m/s ; le vent de démarrage est à 3 m/s. La zone hachurée représente la puissance intégrée sur la distribution typique des vents à Puget (vitesse moyenne estimée 4-5 m/s). Production annuelle indicative : 1 500 à 2 500 kWh selon le site d'implantation.

### Lecture de la courbe :

- **Vent de démarrage** (3 m/s) : la turbine commence à produire — vitesse présente la majorité du temps sur les sites ventés
- **Zone de bon rendement** (5-9 m/s) : production efficace, couverture partielle des besoins électriques
- **Puissance nominale** (1 000 W à 10 m/s) : atteinte lors des coups de vent, non continue

Pour le site de Puget, les vents dominants (mistral) peuvent être favorables, mais la turbine doit être implantée sur un mât d'au moins 8-10 m, en terrain dégagé, loin des obstacles créant des turbulences. **Une étude de vent préalable de 6-12 mois est fortement recommandée avant tout investissement.**

Paramètre	Valeur indicative (modèle 1 kW)
Diamètre rotor	2,4 m
Puissance nominale	1 000 W à 10 m/s
Vent de démarrage	3 m/s
Hauteur de mât recommandée	8-10 m
Durée de construction	1-2 semaines (chantier participatif)
Coût matériaux estimé	1 500-3 000 € selon source des composants
Production annuelle	1 500-2 500 kWh (site à 4-5 m/s moyen)

### II.3.2 Ressources et communauté

- **Association Tripalium** (France) : [tripalium.org](http://tripalium.org) — chantiers participatifs, formation, liste des réalisations françaises → c'est LE site de référence, notamment pour participer à des stages de construction et apprendre tous les menus détails de fabrication, notamment la – délicate – fabrication des pales
- **Tiéole** (France) : [tieole.fr](http://tieole.fr) — formations, boutique (matériels & matériaux – aimants, ponts de diodes, etc.), installations...
- **Documentation Scoraig Wind Electric** : [scoraigwind.co.uk](http://scoraigwind.co.uk) — plans de construction complets, libres de droit
- **Forum ONG Piggot** : retours d'expérience de centaines d'éoliennes construites dans le monde (île de Scoraig, Éthiopie, Népal...)

*[À compléter – retours d'expérience d'associations locales ayant réalisé des chantiers Piggot en PACA ou Occitanie.]*

### II.3.3 Améliorations des éoliennes Piggott

Le processus de fabrication étant entièrement manuel, de nombreux défauts risquent d'apparaître, notamment en ce qui concerne les pales.

Les améliorations des pales de l'éolienne Piggott visent principalement à optimiser le profil aérodynamique et à augmenter la durabilité.

Évolutions de conception et matériaux :

- **Profil aérodynamique** : Les versions récentes, comme la micro-éolienne éducative version 7 développée par l'association P'tiwatt, intègrent un profil de pale amélioré avec un Tip Speed Ratio (rapport de vitesse de bout de pale) plus élevé, adapté spécifiquement à l'alternateur pour une conversion énergétique supérieure.
- **Fabrication assistée** : Alors que le modèle classique exige de tailler à la main des profilés de bois (profil basique), des initiatives comme Technistub explorent l'utilisation de la découpe CNC ou de composites pour obtenir des profils complexes et plus efficaces.
- **Alternatives commerciales** : Il existe des pales en fibres renforcées thermoplastiques (ex. modèle 20042222, 120 cm de long) offrant un équilibrage parfait, une faible vibration et une meilleure résistance à l'usure que le bois massif traditionnel.

Performances et régulation :

- **Rendement** : L'optimisation des pales permet de mieux capter les vents faibles (l'éolienne démarre avec très peu de vent) et d'atteindre sa puissance nominale vers 10 m/s.
- **Sécurité** : Ces améliorations s'accompagnent souvent d'un système de régulation mécanique (mise en drapeau ou furling) qui pivote les pales parallèlement au vent au-delà de 8-10 m/s pour protéger la structure et éviter l'emballement, sacrifiant la puissance de crête pour une fiabilité accrue et une durée de vie plus longue.

## II.4 Fours solaires

L'éolienne produit de l'électricité ; le four solaire produit de la **chaleur** directement, sans conversion intermédiaire. Ces deux technologies sont complémentaires sur un même site : l'éolienne fonctionne même la nuit et par temps couvert, le four solaire tire parti du rayonnement direct — abondant en PACA ( 2 700 h/an). Contrairement aux solutions thermiques conventionnelles, le four solaire n'utilise ni combustible ni réseau électrique.

### II.4.1 Panorama des technologies

Type	T° max.	Usage principal
Four à caisse ( <i>box cooker</i> )	≤ 150 °C	Cuisson lente, pasteurisation
Four parabolique simple	≤ 250 °C	Cuisson rapide, usage familial
<b>LyteFire</b> (concentrateur parabolique · DIY)	<b>300 °C</b>	<b>Boulangerie, séchage · semi-professionnel</b>
Four type Scheffler	≤ 650 °C	Production de vapeur, four communautaire

*[À développer — fabrication d'un four à caisse en chantier participatif, matériaux et performances sur le site de Puget.]*

### II.4.2 LyteFire — concentrateur parabolique DIY semi-professionnel

Le LyteFire ([lytefire.com](http://lytefire.com)) est un concentrateur solaire parabolique conçu pour l'autoconstruction, capable d'atteindre 300 °C sans énergie fossile ni électricité. Ses deux modèles DIY le placent entre le four familial artisanal et le four communautaire de type Scheffler, avec une puissance thermique suffisante pour un usage productif à petite échelle.

#### II.4.2.1 Principe de fonctionnement

Des miroirs plans ou courbes focalisent les rayons solaires sur un point focal unique où est placée la chambre de cuisson. Contrairement aux cuiseurs à caisse (effet de serre), la concentration directe permet d'atteindre des températures élevées en peu de temps. Le suivi solaire est **manuel** : l'opérateur réoriente l'ensemble toutes les 15 à 30 minutes selon la course du soleil.

La technologie est qualifiée de **mid-tech** par ses concepteurs — plus puissante et productive que les fours familiaux simples, plus accessible et réparable que les systèmes communautaires à suivi automatique.

#### II.4.2.2 Les deux modèles DIY

	Cuiseur solaire	Four solaire
Surface de miroirs	4 m <sup>2</sup>	5 m <sup>2</sup>

	<b>Cuiseur solaire</b>	<b>Four solaire</b>
Puissance thermique	2 000 W	3 500 W
T° maximale	300 °C	300 °C
Encombrement	2 x 3 m, H 2 m	diamètre ≥ 7 m
Dégagement nécessaire	Ø ≥ 4,5 m	Ø ≥ 7 m
Temps de construction	3-4 jours	≤ 10 jours
Temps de montée en T°	45-60 min	45-60 min
Capacité indicative	Cuisson familiale / artisanale	30-45 kg de pain/jour

### II.4.2.3 Documentation et packages DIY

LyteFire propose deux niveaux de documentation (en français et en anglais) :

- **Starter Package** (cuiseur seul) — guide de construction 35 p. + manuel utilisateur 30 p. + tutoriels vidéo + accès au forum Lytefire Hub (342 membres).
- **Builder Package** (cuiseur + four) — tout le Starter + guide four 132 p. + 1 h d'assistance technique + livret de recettes de boulangerie solaire.

Les matériaux requis sont disponibles localement : **acier ordinaire, boulons standard, miroirs en verre commun**. Pas de composants spéciaux ni de terres rares.

### II.4.2.4 Projet Canopée — séchage de pois-chiches et boulangerie solaire

Le LyteFire four (3 500 W, 300 °C) ouvre deux axes de valorisation directe pour Canopée :

#### II.4.2.4.1 Séchage et torréfaction de pois-chiches pour la vente

Les pois-chiches produits sur les parcelles peuvent être transformés en produit d'apéritif (torréfiés, salés, épicés) et vendus en vente directe ou aux marchés locaux. Le four solaire est particulièrement adapté à cette filière :

- **Température de travail** : 180-220 °C pour une torréfaction homogène (bien en dessous du maximum de 300 °C — réglage par défocalisation partielle des miroirs ou par la distance au point focal).
- **Cycle indicatif** : 20-30 min par fournée de 2 à 5 kg selon la taille du bac.
- **Énergie** : zéro coût, zéro CO<sub>2</sub> direct.
- **Valeur ajoutée** : transformation sur place d'une production propre, en cohérence avec le positionnement agroécologique de Canopée.

#### II.4.2.4.2 Boulangerie solaire semi-professionnelle

La capacité de 30 à 45 kg de pain par jour (modèle four) correspond à une petite boulangerie artisanale. Les formations « boulangerie solaire » organisées par Canopée pourraient s'appuyer sur une démonstration en conditions réelles, renforçant l'attractivité des ateliers.

### II.4.2.5 Avantages

- **Puissance réelle pour usage productif** — 2 000 à 3 500 W thermiques, bien au-dessus des fours à caisse familiaux (100–300 W équivalents). Cuisson de vraies fournées, pas seulement du réchauffage.
- **Matériaux locaux et réparables** — acier, boulons, miroirs : tout s'achète en quincaillerie locale, tout se remplace. Aucune dépendance à un fournisseur spécialisé.
- **Documentation complète en français** — guides détaillés, tutoriels vidéo, communauté active (Lytefire Hub).
- **Coût d'exploitation nul** — pas de combustible, pas de réseau électrique. Amortissement rapide si la production est valorisée.
- **Pédagogique** — visibilité du principe de concentration solaire, idéal pour les ateliers de démonstration organisés par Canopée.
- **Modularité** — construire le cuiseur d'abord (3–4 jours), ajouter le four ensuite (quelques jours supplémentaires) selon les besoins et les ressources.

### II.4.2.6 Inconvénients et contraintes

- **Suivi solaire manuel** — toutes les 15 à 30 min, l'opérateur doit réorienter l'ensemble. Impossible de laisser le four sans surveillance pendant la cuisson. Contrainte opérationnelle réelle en production continue.
- **Météo-dépendant** — inutilisable par temps couvert ou très voilé. À Puget ( 2 700 h d'ensoleillement/an), la saison de production s'étend d'avril à octobre, mais reste interrompue par les épisodes nuageux.
- **Emprise au sol importante** — 4,5 m de diamètre minimum pour le cuiseur, 7 m pour le four. Nécessite un espace dégagé, de préférence orienté plein sud sans masque (arbre, bâtiment) sur l'arc solaire 9 h–17 h.
- **Construction non triviale** — 3 à 10 jours de travail selon le modèle, avec des opérations de précision (réglage des miroirs pour la focalisation) qui demandent de la méthode. Chantier participatif recommandé.
- **Température difficile à réguler finement** — le four monte à 300 °C, ce qui impose une attention particulière pour les produits sensibles (pain, légumes secs). La défocalisation partielle des miroirs est la principale commande de régulation.
- **Documentation en anglais** pour les parties les plus techniques (guides de construction 132 pages) ; le support en français existe mais reste secondaire.

Le projet de séchage/torréfaction de pois-chiches illustre bien la logique de Canopée : une production agroécologique sur parcelle (Partie I) valorisée par une transformation à énergie solaire (Partie II) et vendue en circuit court. La boucle est cohérente avec l'objet associatif, et le LyteFire constitue l'outil de transformation le mieux adapté à cette échelle.

## II.5 Poêles de masse

Le four solaire dépend du rayonnement direct — il est indisponible la nuit, par temps couvert et hors saison. Pour le **chauffage de l'habitat et l'eau sanitaire**, le poêle de

masse prend le relais avec le bois local : une flambée vive le matin charge une masse réfractaire lourde qui restitue sa chaleur par rayonnement doux pendant 8 à 12 heures, sans surveillance.



Fig. 21. – Poêle de masse avec « Plancha » supérieure = cuisinière de masse – source : [outils-autonomie.fr](http://outils-autonomie.fr)



Fig. 22. – Poêle de masse uzume B14 v4 – foyer batchblock en béton réfractaire maçonné – source : [uzume.fr](http://uzume.fr)



Fig. 23. – poêle bouilleur Odyssey CONVECTION à fabriquer – source : [aezeo.com](http://aezeo.com)

### II.5.1 Principe et origines

Le **poêle de masse** (ou poêle à accumulation) repose sur un principe opposé à celui du poêle à bûches ordinaire : au lieu de diffuser en permanence une chaleur modérée, il encaisse en une ou deux flambées vives (30 à 90 min, température foyer > 1 000 °C) une grande quantité d'énergie dans une masse réfractaire lourde (200 à 1 500 kg), qui la restitue ensuite en rayonnement doux pendant **8 à 12 heures**. Ce mode de fonctionnement permet d'atteindre des rendements de **70 à 92 %** contre 50–70 % pour un insert ou un poêle métallique classique, et génère très peu de particules fines grâce à la combustion complète à haute température.

**Origines historiques** : l'ancêtre commun est l'hypocauste romain (chauffage par le sol). La forme architecturale moderne émerge au Moyen Âge dans l'espace rhénan et alpin :

- **Kachelofen** (Alsace, Autriche, Suisse alémanique, VIIIe s.) : poêle recouvert de carreaux en faïence, disséminant la chaleur par rayonnement
- **Pech** russe (ou « poêle russe ») : énorme masse de brique blanche, souvent intégrée au mur porteur, utilisée aussi pour cuire et dormir dessus
- **Kakelugn** suédois et **varalämpö** finlandais : versions nordiques, sobres et très efficaces, encore fabriquées artisanalement
- **Poêle alsacien** : héritier direct du kachelofen, encore présent dans le bâti rural alsacien

Ces cultures de chauffage ont en commun de n'allumer le poêle qu'une ou deux fois par jour et d'oublier le chauffage le reste du temps – une contrainte d'usage radicalement différente d'un radiateur ou d'un poêle moderne à rechargement continu.

### II.5.2 Foyers modernes – batchblock et DSR

La communauté open-source internationale du poêle de masse a produit deux innovations majeures de conception de foyer qui ont relancé l'intérêt pour l'autoconstruction :

### II.5.2.1 Le batchblock

Le **batchblock** est un foyer en briques réfractaires à chargement par le haut, développé à partir du concept de *rocket stove* (poêle-fusée) mais avec une chambre de combustion fermée. Son principe :

1. Le bois est chargé en une seule fois (batch = fournée) — 7 à 15 kg selon le modèle
2. L'air primaire entre par la porte vitrée ; un air secondaire préchauffé est injecté en arrière de la flamme (*turbulateur*)
3. La combustion forma un double vortex dépassant **1 000-1 100 °C** — les goudrons et CO sont intégralement brûlés
4. Les fumées chaudes circulent ensuite dans une masse réfractaire externe (banc, mur de chauffe, cloisons) avant de sortir à 100-140 °C

Les plans du batchblock sont disponibles en **open-source** sur le forum international [15] et librement adaptés par la communauté française (Uzume, Atelier du Zéphyr...).

### II.5.2.2 Le foyer DSR

Le **foyer DSR** (*Double Système de Récupération* ou *Direct Secondary air Rocket*) est une adaptation française plus compacte, particulièrement adaptée aux poêles à enceinte métallique de type « fût béton réfractaire » développés par la communauté francophone. Il utilise une amenée d'air latérale et arrière sur sole de combustion, compatible avec des bûches courtes (33-38 cm) et une gestion simplifiée par l'utilisateur.

### II.5.3 Offre commerciale et kits

Trois acteurs français illustrent les gammes disponibles, du DIY économique au système intégré haut de gamme :

Acteur	Gamme	Prix indicatif	Particularité
<b>Outils-Autonomie</b> [16]	Petit poêle de masse, <b>cuisinière de masse</b> , chauffe-eau bois. Foyer DSR en béton réfractaire Argicast dans fût métallique 200 L (250 kg). Surface : jusqu'à 40 m <sup>2</sup> bien isolé. 500 W à 2 kW selon nb. de flambées.	1 800 € (cuisinière)	<b>Aucune maçonnerie</b> — l'étanchéité est assurée par le couvercle du fût. Entièrement démontable. Option échangeur ECS inox. Rapport qualité/coût exceptionnel.
<b>Uzume</b> [17]	Medi Batchblock (avec ou sans mur de chauffe), plans open-source gra-	7 000 €+ (posé) kit DIY : 2 000 €	Fondé en 2014 comme association, devenu société en 2019. Réfé-

Acteur	Gamme	Prix indicatif	Particularité
	tuits, kits briques pré-découpées + mortier + joints, réseau de poêliers partenaires.		rence française du batchblock. Plans en open-source : approche militante et transparente. Délai actuel : 8 mois.
<b>Azezo</b> [18]	Poêle bouilleur + capteurs solaires thermiques + plancher chauffant + ballon ECS. Système hybride bois/solaire clés en main ou en formation autoconstruction.	Sur devis (haut de gamme)	<b>Le système intégré le plus complet</b> du marché – voir §ci-dessous. Formation et accompagnement autoconstruction également proposés.

La **cuisinière de masse** Outils-Autonomie cumule les fonctions : chauffage par rayonnement + plancha réactive sur le dessus + option échangeur ECS. À 1 800 €, elle couvre la quasi-totalité des usages thermiques d'un foyer rural bien isolé. Le concept de masse réfractaire dans une enceinte métallique étanche – sans joint ni maçonnerie – la rend accessible à un chantier participatif sans compétence en maçonnerie.

#### II.5.4 Poêle bouilleur – intégration thermique complète

Le **poêle bouilleur** est un poêle de masse équipé d'un échangeur eau intégré dans la masse réfractaire. L'eau chauffée alimente un circuit de distribution permettant de coupler plusieurs émetteurs :

**Bois (flambée 1x/j) + Solaire thermique** (appoint gratuit)

→ **Ballon ECS tampon** (200-400 L) ← stockage journalier

└ **Plancher chauffant** basse température (30-35 °C) – confort optimal

└ **Eau chaude sanitaire** (ECS) – via échangeur dans le ballon

└ **Radiateurs** (si complément nécessaire)

Ce système, proposé en installation complète ou en accompagnement autoconstruction par **Azezo** [18], est la solution thermique la plus performante pour un habitat bien isolé en zone rurale : le bois (quelques stères/an) assure le socle, le solaire thermique couvre l'ECS de printemps à automne, et le plancher chauffant offre un confort radiatif sans variation de température.

**Limitation principale** : le coût initial est élevé (chaudière bois + ballon tampon + capteurs + plancher chauffant = 8 000-20 000 € selon la surface et le niveau d'autoconstruction). La formation et l'accompagnement proposés par Aezeo permettent de réduire significativement la part main-d'œuvre.

**Pertinence pour Canopée** : un poêle de masse — même sans bouilleur — est parfaitement adapté aux usages associatifs (salle commune, atelier couvert) : une flambée le matin maintient le local à température confortable toute la journée sans surveillance. La cuisinière de masse Outils-Autonomie, à 1 800 €, constitue le premier équipement à envisager pour tout bâtiment collectif Canopée.

## II.6 Choix de Canopée — feuille de route énergétique

Le panorama ci-dessus décrit ce que l'on **pourrait** faire. Cette section dit ce que Canopée **fera**, dans quel ordre et pourquoi. Le critère est économique : commencer par ce qui coûte le moins, se met en œuvre le plus simplement et améliore directement le quotidien des membres aux revenus modestes ; reporter les projets à forte valeur mais plus capitalistes ou techniquement exigeants.

Deux priorités touchent la **vie quotidienne** — le carburant et le chauffage — et bénéficient à tous, y compris à ceux qui disposent de peu de ressources. Deux projets, plus lourds, concernent la **production d'électricité**.

Rang	Solution retenue	Coût d'entrée	Statut
1	Carburant HVP (tournesol) — fourgon et tracteur	550 €	À implémenter — sûr
2	Cuisinière / poêle de masse	1 800 € (ou kit DIY)	À implémenter — 2 <sup>e</sup>
3	Gazogène + groupe électrogène moteur Bernard	4 000-7 000 €	Projet
4	Éolienne Piggott 3,60 m autoconstruite	3 000-5 000 €	Projet

### II.6.1 Priorité 1 — Carburant : huile végétale pure (à implémenter)

Le choix des moteurs est déjà arrêté : Canopée s'appuie sur des **moteurs diesel anciens à injection indirecte**, naturellement tolérants à l'HVP — le **fourgon Iveco 35.10** (1985) et le **tracteur International Harvester 844 SB** (1975). Ces motorisations d'avant l'injection haute pression acceptent l'huile sans modification lourde. Reste à choisir l'huile.

#### II.6.1.1 Quelle huile ? Le colza en théorie, le tournesol en pratique

Sur le plan strictement technique, **le colza est la meilleure huile carburant sous nos climats** — non pour son comportement à froid (le tournesol fige en réalité un peu plus bas, ≈ -15 °C contre ≈ -10 °C, et est moins visqueux), mais pour sa **stabilité chimique** :

- **Moins de cires** — le tournesol peut dépasser 1 000 ppm de cires, qui encrassent la chambre de combustion et colmatent les filtres dès que l'huile repasse sous 14 °C.
- **Indice d'iode plus faible** → moindre tendance à la polymérisation (l'huile « siccativante » qui épaisse, gomme et colle), donc moins de dépôts à long terme.

**Canopée retiendra pourtant le tournesol — pour une raison purement économique, assumée.** L'huile de tournesol brute peut être importée de Turquie à **0,30 €/L**, avec une commande minimale de **2 tonnes** : soit **≈ 550 € port compris, livrée au siège**. À ce prix — environ un cinquième du gazole à la pompe —, l'écart de qualité avec le colza devient un compromis acceptable, **à condition** de compenser les faiblesses du tournesol par une **filtration soignée** et un usage par temps doux. C'est l'illustration même de la démarche de ce guide : la solution idéale (colza) cède devant la solution réaliste (tournesol bon marché en gros volume).

### Précautions liées au choix du tournesol :

- **Filtration** — l'huile étant neuve et de qualité alimentaire, elle ne contient ni eau ni impuretés : une filtration fine systématique est superflue. Un filtre à carburant ordinaire suffit, surtout destiné à retenir d'éventuelles cires figées sous 14 °C ; le changer un peu plus souvent.
- **Limiter la siccativité** — le tournesol étant plus siccatif que le colza, on en maîtrise les effets (gommage, dépôts) par un **coupage au gazole** (10–30 %), une **bicarburantion** (démarrage et surtout arrêt au gazole, pour purger le circuit d'injection), un **moteur tenu bien chaud** et des **vidanges moteur rapprochées** — le risque principal n'étant pas l'injection mais la dilution puis la polymérisation de l'huile-carburant dans le carter. Un **antioxydant** (tocophérols) protège le stock de longue durée. Le pétrole lampant / kérosène fluidifierait l'huile mais est **interdit comme carburant** et n'agit de toute façon pas sur la siccativité.
- **Démarrage et arrêt au gazole** en saison froide, ou installation d'un circuit de préchauffe de l'huile.
- **Stockage à l'abri du froid** — les cires figent et bouchent les conduites sous 14 °C.

**Cadre légal.** La France a longtemps été en retard sur l'Europe ; le cadre s'est précisé par étapes. L'**autoconsommation agricole** est autorisée depuis le décret n° 2007-446 du 25 mars 2007 (art. 265 ter du Code des douanes) : le **tracteur IH**, engin agricole en usage de site, est sans ambiguïté. Les ouvertures plus récentes — amendement de la loi de finances 2023 (huiles alimentaires usagées) et **arrêté du 26 juin 2024** actualisant la liste des carburants autorisés et la définition de « flotte captive » — visent les **flottes captives** (cuve dédiée + protocole préfet/douanes), non les particuliers en usage routier. Faire rouler le **fourgon Iveco sur route uniquement à l'huile** reste donc une zone grise : la voie à explorer est le rattachement de Canopée à un statut de « flotte captive » éligible (une association loi 1901 n'est pas une collectivité territoriale). La filière reste pleinement justifiée pour les travaux agricoles et de site.

L'huile végétale est ainsi le **premier maillon** de l'autonomie énergétique de Canopée : coût d'entrée faible, aucune transformation lourde, bénéfice immédiat sur les engins existants.

## II.6.2 Priorité 2 — Chauffage et cuisson : cuisinière de masse (à implémenter)

Deuxième implémentation, toujours au service du quotidien : un **poêle de masse**, et plus précisément une **cuisinière de masse** qui cumule chauffage par rayonnement et plaque

de cuisson. Une à deux flambées vives de bois local par jour suffisent à chauffer un local toute la journée et à cuisiner, sans surveillance et avec un excellent rendement (70–92 %).

**Deux voies, non exclusives :**

- **Acheter le modèle de référence** — la cuisinière de masse Outils-Autonomie ( 1 800 €, foyer DSR en fût métallique, **sans maçonnerie**, démontable) — puis **en tirer un modèle reproductible** pour les membres, par rétro-conception ou par partenariat avec le fabricant.
- **Partir directement de plans open-source** — le **batchblock d’Uzume** est diffusé sous licence libre autorisant la reproduction (y compris commerciale sous conditions) et existe en version « cuisinière » (plancha), avec kits de briques pré-découpées. Cette voie **résout d’emblée la question des droits** que poserait la copie d’un modèle propriétaire.

La voie open-source (Uzume) est juridiquement la plus sûre pour produire ensuite des exemplaires au sein de l’association ; la cuisinière Outils-Autonomie reste la référence pour la **simplicité de fabrication** (fût métallique étanche, aucune maçonnerie), idéale pour un chantier participatif sans compétence de maçon. Le choix entre les deux se tranchera sur un prototype.

Carburant HVP et cuisinière de masse forment le **socle « vie quotidienne »** : peu coûteux, techniquement simples, ils profitent immédiatement à tous les membres — en particulier à ceux qui disposent de peu de ressources.

**II.6.3 Priorité 3 — Électricité : gazogène + groupe électrogène Bernard (projet)**

Une fois le socle quotidien en place, Canopée s’attaquera à la **production d’électricité** à partir des plaquettes d’élagage. Le choix : acheter le **plus petit gazogène chinois** disponible **avec son filtre**, et le coupler au **groupe électrogène à moteur Bernard essence** identifié plus haut. Commencer par le plus petit modèle limite l’investissement et la prise de risque sur une technologie dont la **maîtrise demande 6 à 12 mois** (gestion des goudrons, filtration rigoureuse). Le combustible — plaquettes forestières — est quasi gratuit : l’enjeu n’est pas le coût de la matière mais la fiabilité du système.

**II.6.4 Priorité 4 — Électricité : éolienne Piggott 3,60 m (projet)**

Pour diversifier la production électrique au-delà du bois, Canopée vise l’**autoconstruction d’une éolienne Piggott de 3,60 m de diamètre**.

**Implantation et usage retenus** : l’éolienne sera installée **dans les champs, à proximité de la Durance**, et **couplée directement à une pompe d’irrigation électrique**. Le pompage fonctionne **au fil du vent** — on pompe quand il souffle — ce qui **supprime le poste de stockage par batteries**, le plus coûteux et le plus fragile d’une installation autonome : ici, c’est **l’eau qui est stockée** (cuve ou bassin de rétention), pas l’électricité. Cet usage tolère parfaitement l’intermittence du vent et s’accorde au régime de mistral du site ; il offre une alternative — ou un complément — à la motopompe diesel actuelle du réseau d’irrigation Durance (voir Partie I, Chapitre II.4.2).

La démarche retenue :

- **Suivre un stage** (Tripalium ou équivalent) et **acquérir la documentation** complète de construction.
- **Résoudre en priorité la fabrication de pales parfaitement équilibrées** — c'est le point faible de la fabrication manuelle (gabarits, découpe assistée, équilibrage) et la principale cause de vibrations et d'usure prématurée.
- **Viser un démarrage et une production à des vents plus faibles** que le modèle 4,20 m / 2 000 W, en optimisant le profil de pale et le couplage à l'alternateur — adapté au régime de vents de Puget.

Une **étude de vent préalable de 6 à 12 mois** sur le site d'implantation reste un prérequis avant d'engager le chantier.

PARTIE III  
**Construction bio-climatique économique**

*Principes et techniques de l'autoconstruction performante : bottes de paille haute densité, pisé, constructions semi-enter-rées. L'architecture économique et bioclimatique au service d'un habitat sain.*



La résilience alimentaire et l'autonomie énergétique n'ont de sens durable que si l'habitat qui les accueille est lui-même économe en ressources. Cette partie aborde l'architecture bioclimatique et les techniques constructives biosourcées : d'abord un état de l'art (des savoirs vernaculaires aux standards modernes), puis les matériaux et systèmes constructifs retenus pour le projet Canopée, enfin les réalisations à l'échelle de l'association — des abris de jardin aux projets de maisons semi-enterrées.

## III.1 État de l'art — de l'habitat vernaculaire à l'habitat du futur

### III.1.1 L'habitat vernaculaire était bioclimatique

Avant l'ère du pétrole bon marché et des matériaux industriels, construire bioclimatiquement n'était pas un choix idéologique — c'était une contrainte économique. Les bâtisseurs vernaculaires avaient développé, empiriquement et sur des siècles, des réponses très précises à leur climat local.

**La ferme de montagne alpine** en est l'exemple le plus complet :

- Le **grenier à foin** occupe toute la partie supérieure du bâtiment — il ne sert pas qu'à stocker le fourrage, il constitue l'isolant thermique de la toiture ( $\lambda$  foin sec  $\approx 0,05$  W/m·K, équivalent à la BHD)
- Les **murs en pierre massive** de 60 à 80 cm offrent une inertie thermique considérable : les variations extérieures de température mettent 10 à 12 heures à les traverser
- L'**étable est mitoyenne de la pièce à vivre**, séparée par un simple mur — la chaleur corporelle des animaux (une vache produit 1 kW thermique en continu) contribue significativement au chauffage hivernal
- Les **ouvertures sont minimales côté nord et est**, larges côté sud

**Les constructions en pisé** du Dauphiné, du Maghreb ou d'Iran obéissent au même principe d'inertie : murs de 50 à 80 cm, chaleur du jour absorbée et restituée la nuit, fraîcheur hivernale atténuée par la masse.

**Les maisons troglodytes** (Val de Loire, Cappadoce, Chine du Nord) poussent la logique à l'extrême : creusées dans la roche ou le tuf, elles maintiennent une température intérieure remarquablement stable (12–16 °C) en toute saison, sans aucun chauffage ni climatisation.

Ces exemples partagent une architecture **compacte, massive, orientée** — trois principes que l'architecture industrielle du XX<sup>e</sup> siècle a systématiquement abandonnés au profit de la légèreté, de la répétition et du confort mécanique.

### III.1.2 La redécouverte bioclimatique (années 1960–1980)

Le premier choc pétrolier (1973) révèle brutalement la dépendance énergétique de l'architecture conventionnelle. Plusieurs courants émergent simultanément :

**Le mouvement bioclimatique théorique** prend racine dès 1963 avec Victor Olgyay [19] (*Design with Climate*) et Hassan Fathy en Égypte, qui redécouvre la maison à cour

intérieure et à ventilation naturelle. En France, les années 1970–80 voient se développer une première génération d’architectes bioclimatiques influencés par ces travaux.

**Les earthships de Michael Reynolds** (Taos, Nouveau-Mexique, 1969 et suivantes) représentent une approche radicale : murs porteurs en pneus compactés de terre et bouteilles, façade sud entièrement vitrée avec serre intégrée, eau de pluie collectée en toiture, photovoltaïque. Le tout hors-réseau. Ces constructions sont légales au Nouveau-Mexique sous régime de dérogation ; plusieurs ont été réalisées en France sous statut expérimental.

Une évolution récente, le **Lifehaus** [20], reprend le principe earthship dans une version **passive, low-cost et explicitement pensée pour le climat méditerranéen** (hivers doux et pluvieux, étés chauds et secs) — une référence directement transposable au bassin provençal, et cohérente avec la priorité économique de Canopée.

**Les premières maisons enterrées modernes** apparaissent dans la même décennie : Peter Vetsch construit son premier dôme en béton projeté recouvert de terre en Suisse dans les années 1970, Étienne Fromanger réalise *La Renardière* en Île-de-France en 1972–1975.

### III.1.3 Standards modernes — du BBC au Passivhaus

L’architecture à basse consommation s’est progressivement institutionnalisée :

Standard	Origine	Critère principal
<b>Passivhaus</b>	Allemagne, 1990	Besoin de chauffage < 15 kWh/m <sup>2</sup> /an ; étanchéité à l’air (n50 < 0,6 vol/h) ; VMC double flux obligatoire
<b>BBC / RT 2012</b>	France, 2012	Consommation primaire < 50 kWh/m <sup>2</sup> /an (modulée par la zone climatique)
<b>RE 2020</b>	France, 2022	Ajoute un bilan carbone sur le cycle de vie complet du bâtiment — favorise les biosourcés
<b>BEPOS</b>	France, objectif	Bâtiment à Énergie POSitive : produit plus d’énergie qu’il n’en consomme

Pour une référence française complète sur les principes, méthodes et applications, voir [21]. Le Passivhaus est le seul standard avec une méthode de calcul et de vérification (blower door test) indépendante de la réglementation nationale — c’est une référence solide pour comparer les techniques constructives.

### III.1.4 Puits canadien et VMC double flux — ventilation sans énergie

Deux techniques complémentaires permettent d’assurer la ventilation d’une maison très bien isolée sans recours au chauffage ni à la climatisation :

**Le puits canadien** (ou *échangeur air-sol*, appelé puits provençal quand il est utilisé principalement en été) est un tube enterré à 1,5–2 m de profondeur, à la température

quasi-constante du sol. L'air extérieur y transite avant d'entrer dans la maison : il se réchauffe en hiver (+6 à +12 °C selon la longueur du tube et le débit) et se rafraîchit en été (-5 à -10 °C). Dimensionnement typique : tube PVC ou PEHD Ø 150-200 mm, longueur ≥ 50 m, débit 100-150 m<sup>3</sup>/h [22].

**La VMC double flux** récupère 80 à 90 % de la chaleur de l'air vicié sortant pour préchauffer l'air neuf entrant, sans que les deux flux ne se mélangent. Sur une maison passive (besoin de chauffage < 15 kWh/m<sup>2</sup>/an), elle couvre l'essentiel des besoins de conditionnement de l'air.

**En série – puits canadien → VMC double flux** : les deux systèmes se complètent. Le puits pré-tempère l'air avant l'échangeur de la VMC, ce qui évite le gel de l'échangeur en hiver (principal risque de défaillance) et réduit la charge de refroidissement en été. En revanche, l'apport énergétique du puits en hiver reste modeste (9 W/m<sup>2</sup> habitable au maximum) — la VMC double flux seule est souvent suffisante dans les zones au-dessus de 0 °C [23].

**Dans une maison semi-enterrée**, le puits canadien perd une grande partie de son intérêt : les parois en contact avec la terre jouent déjà le rôle de tampon thermique sol-air. La VMC double flux reste indispensable pour le renouvellement d'air, mais un puits de quelques mètres suffit à maintenir l'échangeur hors gel sans la longueur requise pour une maison de surface.

### III.1.5 Grosses bottes de paille porteuses – situation réglementaire

La technique **Nebraska** (bottes porteuses sans ossature, née dans les Grandes Plaines américaines à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle faute de bois) connaît un regain d'intérêt. Ses performances thermiques sont excellentes et le coût matière est faible. Mais la situation réglementaire diverge fortement entre pays :

Pays	Statut bottes porteuses
Suisse	Technique reconnue, assurable, plusieurs dizaines de maisons construites — dont des projets collectifs
Autriche	Cadre réglementaire favorable, expérience croissante
France	<b>Pas d'Avitec (Avis Technique ou ATEX CSTB) pour les bottes porteuses</b> → non assurable en assurance décennale ni en assurance multirisque habitation pour certains assureurs. Situation bloquante pour un autoconstructeur.

En France, la seule technique paille **assurable en décennale et pour la durée d'exploitation** est l'**ossature bois avec remplissage de bottes** — qui dispose des Règles Professionnelles Construction Paille (CP 2012/2020) reconnues par les assureurs. Les bottes en mode porteur restent juridiquement risquées pour le maître d'ouvrage.

### III.1.6 La question du coût

C'est le frein principal à l'adoption des techniques biosourcées. Une maison à ossature bois avec remplissage paille et finitions correctes revient, en France en 2024, à **environ**

**35 % de plus** qu'une maison conventionnelle en parpaings + isolation intérieure laine de verre.

Ce surcoût s'explique par :

- La main-d'œuvre qualifiée (encore rare) pour la pose des bottes et des enduits terre-chaux
- Les finitions d'étanchéité à l'air (membranes, joints, traitement des jonctions)
- Le coût de la structure bois elle-même (ossature KVH ou lamellé-collé)

En revanche, ce surcoût se rembourse progressivement sur la durée de vie par les économies d'énergie — mais l'horizon de retour dépend fortement du prix de l'énergie et du financement.

**Piste de réduction des coûts** : l'autoconstruction assistée (chantiers participatifs pour la pose des bottes et les enduits) peut abaisser ce surcoût de 15 à 20 points. C'est précisément l'axe de Canopée — conseil technique + mobilisation de la communauté de membres.

### III.1.7 Orientation solaire et protection solaire — principes fondamentaux

L'orientation est la décision architecturale la plus impactante et la moins coûteuse. Ses principes sont simples :

- **Façade principale au sud** ( $\pm 15^\circ$ ) : capte le rayonnement solaire en hiver (soleil bas), le bloque en été grâce aux **débords de toit**
- **Calcul des débords** : à Puget-sur-Durance (lat.  $43,7^\circ\text{N}$ ), la hauteur du soleil est de  $70^\circ$  au solstice d'été et  $26^\circ$  au solstice d'hiver. Un débord de 60 cm sur une fenêtre de 1,2 m de hauteur bloque le soleil d'été tout en laissant passer 80 % du rayonnement hivernal
- **Rapport longueur/largeur** : une maison orientée est-ouest avec un rapport 2:1 (longueur/largeur) offre la meilleure balance apport/perte
- **Ouvertures nord** : réduites au minimum — apports solaires nuls, déperditions maximales
- **Triple vitrage sud** : le coefficient g (gain solaire) doit être élevé côté sud ( $g > 0,5$ ) et faible côté nord ( $g < 0,3$ )

Ces principes s'appliquent quelle que soit la technique constructive — y compris pour les maisons enterrées qui exposent uniquement leur façade sud.

### III.1.8 Adaptation au changement climatique — l'habitat du futur

Les projections climatiques pour la région PACA (GIEC, scénario SSP3-7.0) anticipent :

- Des épisodes de chaleur extrême dépassant **50 °C** en plaine d'ici 2060-2100
- Des sécheresses prolongées rendant la végétation très inflammable
- Un risque incendie de forêt **structurellement élevé** sur toute la zone méditerranéenne

Dans ce contexte, les techniques constructives actuellement considérées comme « alternatives » deviennent des impératifs :

Risque futur	Réponse architecturale
Chaleur extrême (> 50 °C)	Inertie thermique massive insuffisante à elle seule → seul l' <b>enterrement</b> (température sol constante à 12-14 °C) garantit le confort sans énergie mécanique
Incendies de forêt	Toiture et façades combustibles = risque mortel → <b>habitat enterré</b> : aucune surface combustible exposée, résistance passive aux flammes et aux températures extrêmes
Sécheresse / eau	Toit végétalisé d'un habitat enterré = <b>réservoir d'eau de pluie</b> et microclimat local
Événements extrêmes (vent, grêle)	Un bâtiment enterré <b>n'est pas soumis aux charges de vent</b> et résiste mécaniquement aux chocs de grêle

### III.1.9 La maison enterrée – solution ultime ?

Si l'on accepte de résoudre les trois défis techniques spécifiques à cette technique, la maison semi-enterrée ou enterrée présente un bilan **thermique, économique et climatique** difficile à égaler :

Défi	Difficulté	Solution maîtrisée
<b>Condensation</b> sur paroi intérieure froide	Moyenne	Isolation thermique intérieure avec pare-vapeur côté chaud ; VMC double flux avec récupérateur ; pont thermique à rompre en périmètre de dalle
<b>Éclairage naturel</b> insuffisant	Moyenne	Façade sud entièrement vitrée + puits de lumière zénithaux (sky-domes) + lanterneaux ; réflexion de la lumière par les sols clairs
<b>Étanchéité</b> extérieure sur parois enterrées	Élevée	Membrane EPDM ou bitume modifié APP, protégée par un drain de protection + géotextile avant remblai ; drainage périphérique obligatoire

Une fois ces trois défis maîtrisés, les avantages sont durables :

- **Pas de chauffage** au-delà d'un appoint ponctuel (température sol 12-14 °C)
- **Pas de climatisation** même à 50 °C extérieurs
- **Résistance au feu** passive totale

- **Durabilité** : le béton enterré est protégé du gel-dégel et du rayonnement UV — durée de vie structurelle > 100 ans
- **Coût d'exploitation** quasi nul sur la durée de vie

Le surcoût à la construction (terrassment, étanchéité, structure résistante à la poussée des terres) est réel — de l'ordre de **20 à 40 %** par rapport à une construction de surface équivalente en ossature bois. Mais ce surcoût est **non récurrent**, alors que les économies d'énergie sont **annuelles et croissantes** avec le prix de l'énergie.

Dans le contexte climatique qui s'annonce pour la PACA, la maison semi-enterrée n'est plus une curiosité architecturale — elle devient **l'architecture de la résilience**.

Les défis techniques spécifiques à la maison enterrée — étanchéité, éclairage, structure sous poussée des terres — ainsi que les typologies et les constructeurs de référence sont détaillés dans la section *Constructions semi-enterrées* ci-après.

## III.2 Principes bioclimatiques

### III.2.1 Orienter et concevoir le bâtiment

Un bâtiment bioclimatique tire parti de son environnement immédiat pour réduire ses besoins énergétiques : orientation sud pour les apports solaires passifs, protection contre les vents dominants, gestion de l'inertie thermique.

Les règles d'implantation — orientation façade sud ( $\pm 15^\circ$ ), rapport longueur/largeur optimal, calcul des débords de toit à Puget (lat.  $43,7^\circ\text{N}$ ), choix des vitrages selon l'orientation — sont développées dans la section *Orientation solaire et protection solaire* de l'état de l'art ci-dessus. L'importance de l'inertie thermique et du déphasage est illustrée par le graphique de la section *Confort d'été et confort d'hiver* ci-dessous.

*[À compléter — calcul simplifié des masques solaires, exemples d'implantation sur les terrains Canopée.]*

### III.2.2 Confort d'été et confort d'hiver

Le principal levier passif du confort d'été en région méditerranéenne est le **déphasage thermique** : le temps que met une onde de chaleur extérieure à traverser la paroi et à se faire ressentir à l'intérieur. Un déphasage de 8 heures ou plus signifie que la chaleur de l'après-midi n'atteint l'intérieur qu'en milieu de nuit — quand la ventilation naturelle a déjà refroidi le bâtiment.

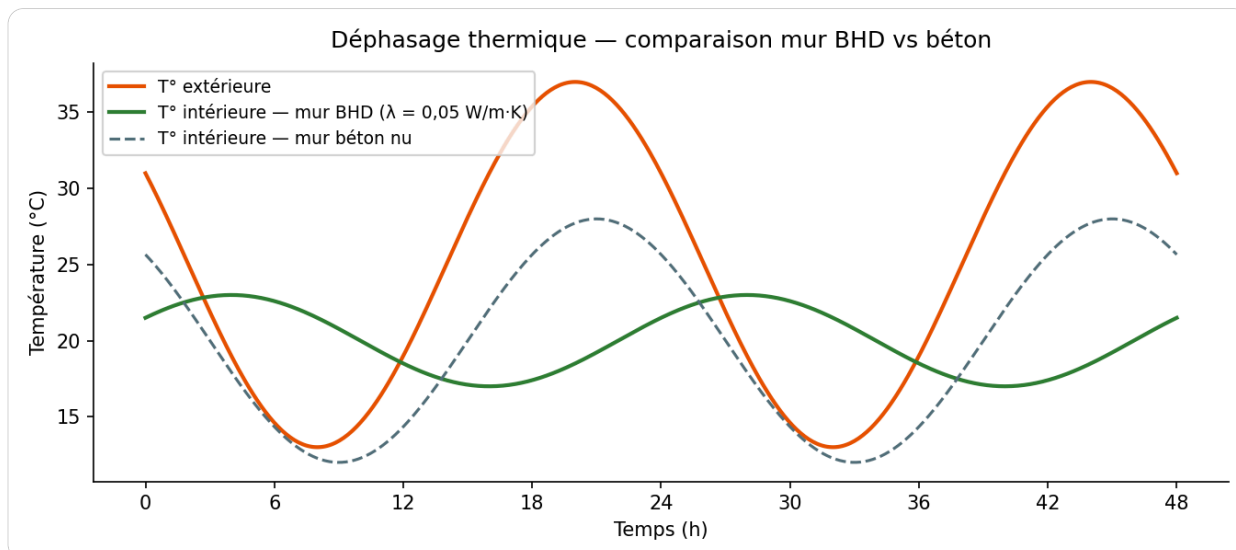


Fig. 24. – Déphasage thermique comparé — mur en bottes de paille haute densité (BHD,  $\lambda \approx 0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) vs mur en béton nu. La courbe orange représente la température extérieure (amplitude  $24^\circ\text{C}$  sur la journée) ; le mur BHD lisse et décale le signal de 8 heures, rendant le pic intérieur nocturne et de faible amplitude. Le béton non isolé suit presque instantanément la température extérieure.

### Enseignements pour la construction Canopée :

- La BHD offre un déphasage de **8 h ou plus** (selon l'épaisseur), très adapté au climat provençal où les nuits sont fraîches même en été
- Le béton nu amplifie les variations extérieures sans les décaler — l'isolation est indispensable
- **Ventilation nocturne traversante** : ouvrir les fenêtres opposées la nuit pour purger la chaleur stockée dans la masse du bâtiment ; fermer tôt le matin
- **Débords de toit** : calculer l'ombrage des vitrages en fonction de la hauteur du soleil estival ( $70^\circ$  à Puget en juin) pour bloquer le rayonnement direct sans l'empêcher en hiver ( $28^\circ$ )
- **Toiture végétalisée** (substrat 10 cm) : déphasage additionnel de 3-5 h + isolation thermique + rétention d'eau pluviale

## III.3 Bottes de paille haute densité

### III.3.1 Caractéristiques et avantages

La paille de blé ou de seigle pressée en bottes haute densité (HD) constitue un matériau isolant exceptionnel ( $\lambda \approx 0,045\text{--}0,050 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) et accessible localement.

**Botte HD** : dimensions standard  $36 \times 47 \times 90 \text{ cm}$ , masse 16 kg, résistance à la compression suffisante pour un usage porteur (technique Nebraska) ou en remplissage sur ossature.

La comparaison ci-dessous situe la BHD parmi les principaux isolants en termes de performance thermique et de bilan carbone :

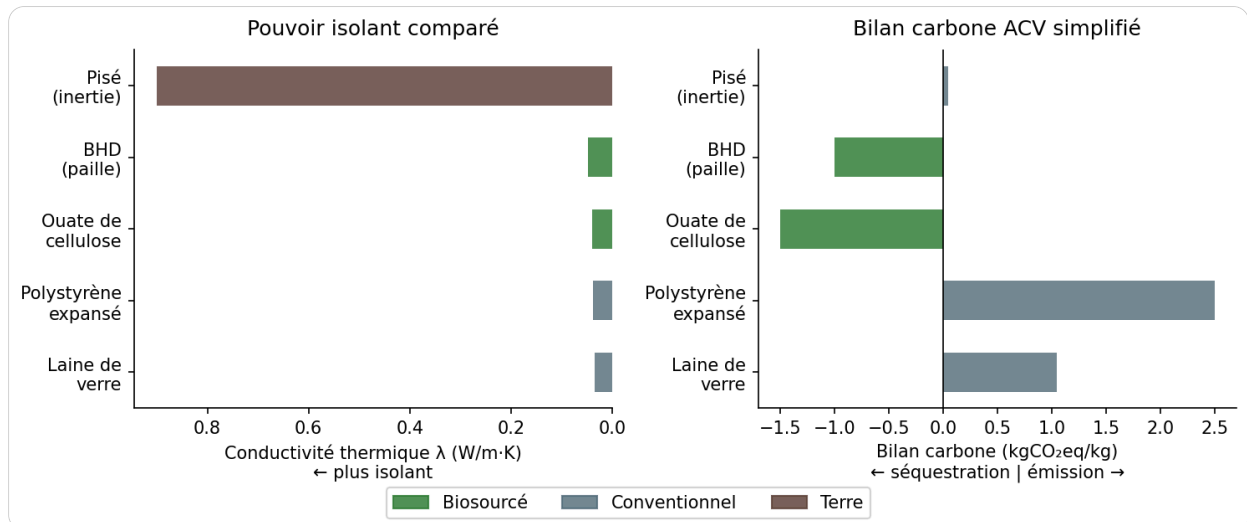


Fig. 25. – Comparaison des isolants courants — conductivité thermique  $\lambda$  (axe gauche, plus isolant à gauche) et bilan carbone en analyse de cycle de vie simplifiée (axe droit, valeurs négatives = séquestration de carbone). La BHD et la ouate de cellulose sont biosourcées avec un bilan carbone négatif (séquestration nette) ; la laine de verre et le polystyrène expansé ont un bilan positif (émetteurs nets). Le pisé, bien que non isolant ( $\lambda$  élevé), a un bilan carbone quasi nul et apporte une forte inertie.

### Lecture du graphique :

- **Axe gauche ( $\lambda$ )** — la BHD ( $\lambda \approx 0,048$ ) est moins isolante que la laine de verre ( $\lambda \approx 0,035$ ) à épaisseur égale. Pour compenser, les murs BHD sont épais : **50-60 cm** de botte vs 20 cm de laine de verre pour une résistance thermique équivalente ( $R \approx 7 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )
- **Axe droit (carbone)** — la BHD séquestre 1 kgCO<sub>2</sub>/kg pendant sa durée de vie (le carbone est stocké dans la paille). La laine de verre et le polystyrène émettent du CO<sub>2</sub> lors de leur fabrication
- **Déphasage thermique** — la BHD offre un déphasage de 8 h+ (voir graphique précédent), bien supérieur aux isolants synthétiques qui ont peu d'inertie

### Deux techniques constructives :

- **Nebraska** (porteur) : les bottes empilées portent elles-mêmes le toit. Simple, pas d'ossature bois, mais exige des bottes très régulières et un bardage extérieur étanche. Adapté aux abris de jardin et petits bâtiments.
- **Ossature bois** (remplissage) : la structure bois porte les charges ; les bottes remplissent les travées entre montants. Plus courante en autoconstruction moderne, plus facile à gérer pour les baies et ouvertures.

[À compléter — détails de pose (bottes alternées, ficelage, fixation aux sablières), traitement des baies, pare-pluie respirant, enduits de finition (terre ou chaux aérienne).]

### III.3.2 Chantiers participatifs

[À développer — organisation d'un chantier, outils nécessaires, équipes, temps de main-d'œuvre, retours d'expérience de chantiers menés ou observés par Canopée.]

## III.4 Pisé (terre compactée)

### III.4.1 Principe

Le pisé consiste à compacter de la terre légèrement humide par couches successives dans un coffrage. Technique millénaire, elle offre une excellente inertie thermique et une empreinte carbone quasi nulle.

*[À développer – composition idéale de la terre (gravier, sable, argile, limon), tests de terrain (test du ruban, test de la boulette), compactage manuel vs pneumatique, épaisseur des murs.]*

### III.4.2 Compatibilité avec le site de Puget

*[À développer – analyse des terres disponibles sur les parcelles, prélèvements et tests, potentiel de mise en œuvre sur de futurs bâtiments Canopée.]*

## III.5 Constructions semi-enterrées et maisons enterrées

### III.5.1 Avantages thermiques

Au-delà de 1,5–2 m de profondeur, la température du sol reste stable autour de 12–14 °C en région méditerranéenne, quelle que soit la saison. Une construction semi-enterrée exploite cette constance de deux façons complémentaires :

- **Rafrâichissement estival passif** : la masse de terre enveloppant les parois absorbe et stocke la chaleur pendant la journée, puis la restitue vers l'extérieur la nuit – sans climatisation.
- **Limitation des pertes hivernales** : la terre est un excellent isolant de masse. Une maison enterrée à 80 % peut nécessiter un chauffage d'appoint très modeste même en zone froide, ce que confirment les retours d'expérience des constructeurs suisses et autrichiens.

À ces avantages s'ajoutent une intégration paysagère quasi totale (toit végétalisé habitable, façade en retrait) et une protection naturelle contre le bruit et le vent.

### III.5.2 Typologies

Typologie	Principe	Exemples / références
Maison dans la colline	Adossée à un talus naturel ou artificiel – trois côtés enterrés, façade sud vitrée	Tradition vernaculaire mondiale ; nombreuses réalisations en France rurale

Typologie	Principe	Exemples / références
Dôme en béton armé (style Vetsch)	Coques en béton projeté sur cintre gonflable ou coffrage terre, recouvertes de terre ; formes organiques libres	Peter Vetsch (Suisse, > 100 maisons depuis 1970) ; NaturaDome (France, Tarbes)
Voûte végétalisée	Structure arquée en bois ou acier, recouverte d'une membrane étanche et de terre	Bogen Haus (Autriche, Günterseder) ; ScoopHome (France, mini-maisons bois + terre)
Dôme préfabriqué (kit)	Modules en polymères renforcés ou plastique recyclé, assemblage sur site, puis terrassement	Green Magic Homes (USA — non conforme CSTB en France) ; Bio-tech (Canada/Europe)
Earthship	Murs porteurs en pneus compactés de terre, complétés de bouteilles et plâtre ; façade sud entièrement vitrée	Michael Reynolds (Nouveau-Mexique) ; plusieurs constructions en France sous dérogation
Toit vert habitable	Construction classique avec toiture végétalisée épaisse (> 30 cm de substrat) ; l'habitat n'est pas enterré mais le toit l'est	Baldwin O'Bryan Architects (Australie) ; nombreux architectes français

### III.5.3 Constructeurs et ressources de référence

Le panorama ci-dessous est issu du répertoire [24]. Il couvre les acteurs actifs ou récemment actifs en France et en Europe.

Acteur	Pays / zone	Offre et particularités
<b>NaturaDome</b> (Natura Dream)	France — Tarbes (65)	> 30 maisons construites en France. Brevets sur bétons de formes libres. Contact : Benoît Darré, groupe Pomès-Darré.
<b>ScoopHome</b>	France	Mini-maisons préfabriquées bois + terre végétalisée. Une dizaine de réalisations. Fondateur : Matthieu Flouy.

Acteur	Pays / zone	Offre et particularités
<b>GreenPod</b>	France	Formation et accompagnement à l'auto-construction de tiny houses végétalisées. Fondateur : Philippe Delage.
<b>Peter Vetsch</b>	Suisse – Dietikon	Référence historique mondiale : > 100 dômes enterrés en béton projeté depuis les années 1970. Baies vitrées panoramiques.
<b>Bogen Haus</b>	Autriche	Voûtes végétalisées en arche (ingénieur Erich Günterseder). Images 3D disponibles sur leur site.
<b>Green Magic Homes</b>	USA (kits exportés)	Modules FRP (polymères renforcés fibres) en kit auto-montable. Non homologué CSTB – ne peut pas servir d'habitation principale en France sans démarche spécifique.
<b>Biotech</b>	Canada / Europe (en cours)	Kit en plastique recyclé (bouteilles). Démarche écologique, implantation européenne en cours.
<b>Étienne Fromanger</b>	France – Île-de-France	Architecte pionnier : « La Renardière » (1972-1975), béton armé avec voûtes et puits de lumière. Élué « maison la plus originale de France » (M6).

### III.5.4 Points de vigilance techniques

**L'étanchéité est le point critique d'une maison enterrée.** Une infiltration d'eau dans une paroi enterrée est difficile à détecter et peut dégrader rapidement la structure et l'habitabilité. La membrane d'étanchéité (bitumineuse, EPDM ou résine époxy) doit être posée par un professionnel expérimenté et protégée mécaniquement avant remblaiement.

#### • Humidité :

- H. provenant de l'*extérieur*, prévoir les installation suivantes :
  - drainage périphérique (drain Ø100 mm entouré de géotextile + lit de gravier + cunette gros béton) à la base des parois enterrées
  - étanchéité type bicouche-bitume élastomère ou (plus simple) monocouche en « caoutchouc »/EPDM
  - couche de protection au dessous de l'étanchéité, anti-poinçonnement
  - couche d'indépendance en-dessous de l'étanchéité, pour lui permettre de se déplacer sur la structure en cas de glissement de terrain, sans qu'elle se déchire
- H. provenant de l'*intérieur* (condensation sur les parois) :
  - isolation thermique évitant la création d'une paroi « froide » provoquant la condensation d'un air chaud chargé en humidité (la baisse de température de l'air impose un changement d'état de l'eau, passant du gaz au liquide)

- ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux obligatoire pour renouveler l'air en récupérant les calories du volume chauffé — dimensionnement esquissé en Annexe (*Renouvellement d'air d'un habitat étanche chauffé au bois*)
- **Lumière naturelle** : compensée par des puits de lumière (skydomes), des lanterneaux zénithaux et une façade sud entièrement vitrée (double ou triple vitrage)
- **Charge sur la toiture** : 1 m de terre saturée pèse 1 800 kg/m<sup>2</sup> — le calcul de structure (dalle ou voûte) doit être réalisé ou validé par un ingénieur structure (descente de charges esquissée en Annexe, *Toiture-terre*)
- **Accès et évacuation** : prévoir au moins deux sorties (sécurité incendie) et des regards de visite pour les réseaux enterrés (eau, assainissement, électricité)

### III.5.5 Réglementation et autoconstruction

Toute construction destinée à l'habitation est soumise à permis de construire, quel que soit son degré d'enterrement. L'enterrement ne constitue pas une exemption réglementaire — vérifier le PLU et le règlement de zone (A, N, U) avant tout projet.

En zone agricole (zone A) ou naturelle (zone N), la construction d'un logement est en principe interdite sauf exceptions strictement encadrées (logement de l'exploitant agricole, extension limitée de l'existant). Une maison enterrée n'y échappe pas.

*[À compléter — retours d'expérience de porteurs de projets en zone rurale ayant obtenu des dérogations ; contacts préfecture et CAUE locaux.]*

### III.6 Canopée : conseil technique, pas maîtrise d'œuvre

Canopée **n'assure pas la maîtrise d'œuvre** des projets d'habitat : ce rôle engagerait la responsabilité civile décennale de l'association, dont l'assurance (RCD) est hors de portée de ses moyens (de l'ordre de 500 €/mois). L'association se positionne donc en **conseil technique et accompagnement** — l'autoconstructeur reste son propre **maître d'ouvrage** et en assume la responsabilité.

Concrètement, l'appui technique est porté par **OLT — président de Canopée, ingénieur structures** — mobilisé **ponctuellement et rémunéré pour l'occasion** (chèque emploi-service, CESU) par le maître d'ouvrage : lecture de plans, choix constructifs, points de vigilance structure et étanchéité, organisation des chantiers participatifs. Cette formule met une compétence d'ingénierie à disposition des membres **sans que l'association ait à porter une assurance décennale**.

*[À développer — modalités pratiques de l'accompagnement, périmètre du conseil et limites de responsabilité, exemples de projets.]*

## III.7 Abris de jardin

À l’opposé des projets d’envergure abordés ci-dessus, un besoin immédiat et commun à tous les jardiniers Canopée est l’abri individuel de jardin : un bâtiment de 5 m<sup>2</sup> pour ranger les outils et abriter la cuve de récupération d’eau. Sa conception est simple, mais elle illustre les mêmes principes que les constructions plus ambitieuses — réutilisation, matériaux locaux, chantier participatif.

### III.7.1 Dimensions standard Canopée

Chaque jardinier dispose d’un abri individuel de **5 m<sup>2</sup>** (2,5 m × 2 m) pour le stockage des outils et du petit matériel (voir § Services collectifs, Partie I). En France (art. R421-2 du Code de l’urbanisme), les constructions d’emprise au sol **strictement inférieure à 5 m<sup>2</sup>** sont dispensées de toute formalité dans la plupart des zones.

En zone agricole (zone A du PLU), des restrictions supplémentaires peuvent s’appliquer. Vérifier le PLU de Puget-sur-Durance et consulter le service urbanisme de la commune avant tout démarrage de chantier — certains PLU en zone A interdisent toute construction même légère.

### III.7.2 Conception en ossature bois sur plots

L’abri type Canopée est conçu pour être réalisé lors d’un chantier participatif d’une journée :

Élément	Description
Fondations	4 pneus remplis de sable/terre stabilisés avec du ciment (1 sous chaque angle)
Sol	<i>Idéalement</i> : platealge solide sur lambourdes reposant sur poutres, <i>dans la pratique</i> : sol « stabilisé » au ciment !
Ossature	Panneaux réalisés avec des 1/2 chevrons (38x63) ou chevrons (63x75) (au moins pour la charpente...)
Bardage	Bois de récupération : planches de palettes, dosses de scierie ou panneaux type OSB, selon dispos...
Couverture	Toit monopente en tôle ondulée acier galvanisé, pente 15–20 %
Porte	De récupération ou type volet Marseillais — largeur de passage d’une brouette/d’un motoculteur ≈ 90 cm
Aération	<i>Idéalement</i> : lame d’air en soffite + grille anti-rongeurs, <i>dans la pratique</i> : jour bas de porte et autres jonctions non étanches des parois !
Cuve IBC	<b>Cuve IBC</b> disposée à l’intérieur de l’abri, reposant sur une palette à même le sol, <b>raccordement depuis l’extérieur</b> pour remplissage par canalisation nourrice collective (vanne 1/4 de tour) et <b>départ possible vers l’extérieur</b> (à la charge du jardinier)

**Avantage du toit monopente** : économie de matière, simplicité pour un chantier participatif, récupération des eaux de pluie sur une gouttière côté bas.

*[Photo à inclure — abri type Canopée en cours de chantier participatif ou abri terminé.]*

### III.7.3 Précautions spécifiques au site de Puget

- **Orientation** : porte côté est — évite l'ouverture face au mistral venant du NE (rare) et au vent venant de l'ouest (fréquent)
- **Surélévation du plancher** : 15 cm minimum — risque d'inondation saisonnière sur les parcelles proches de la Durance
- **Ancrage anti-mistral** : liaisons mécaniques avec les plots de fondation, l'abri étant « léger », il résiste mal au vent fort tel que le mistral (mistral > 100 km/h possible à Puget)
- **Etagères intérieures** : deux niveaux — intrants (purins, semences, traitements AB) en haut, outillage en bas, platelage sur la cuve IBC

## III.8 Choix de Canopée — construction

Cette partie a parcouru un large éventail, du savoir vernaculaire aux standards Passivhaus. Deux choix se dégagent, à deux échelles.

### III.8.1 À l'échelle individuelle, tout de suite : l'abri de jardin ossature bois

Besoin immédiat et commun à tous les jardiniers, réalisable en un chantier participatif d'une journée avec des matériaux de récupération (voir § Abris de jardin). C'est l'application la plus simple et la moins coûteuse des principes de cette partie — à généraliser dès maintenant sur les parcelles.

### III.8.2 À l'échelle d'un bâtiment d'envergure : la maison semi-enterrée

Pour tout projet de construction habitable accompagné par Canopée, le choix retenu est la **maison semi-enterrée**. Le raisonnement est à la fois climatique et économique :

- **Résilience climatique** — face aux projections PACA (chaleur > 50 °C, risque incendie structurel, sécheresse), l'enterrement partiel apporte une température de sol stable (12-14 °C), l'absence de surface combustible exposée et une protection passive sans énergie mécanique.
- **Économie d'usage** — chauffage et climatisation quasi supprimés ; les retours d'expérience font état d'une facture énergétique 3 à 5 fois plus faible qu'une maison classique de même surface.
- **Coût maîtrisé** — la version **semi-enterrée** (ordre de grandeur 700-1 000 €/m<sup>2</sup> hors finitions haut de gamme) est nettement plus économique que l'enterrement complet, tout en conservant l'essentiel des bénéfices. Le surcoût initial (terrassement, étanchéité, structure sous poussée des terres) est **non récurrent**, alors que les économies sont annuelles et croissent avec le prix de l'énergie.

**Technique privilégiée** : coque en **béton banché hydrofuge ou béton projeté sur treillis**, recouverte de terre — la solution la mieux documentée en France (référence : NaturaDome, Tarbes). L'**étanchéité des parois enterrées et le drainage périphérique** sont le point critique non négociable (voir § Points de vigilance techniques) et justifient un appui en **conseil technique** (voir § Canopée : conseil technique, pas maîtrise d'œuvre).

**Le rôle de Canopée est ici décisif.** Le frein principal des techniques performantes est leur surcoût en main-d'œuvre qualifiée. En apportant un **conseil technique** (porté par OLT, ingénieur structures, rémunéré en CESU — voir ci-dessus) et en mobilisant ses membres en **chantiers participatifs** (terrassment, pose de l'étanchéité sous supervision, remblai, finitions), l'association peut abaisser ce surcoût de 15 à 20 points — ce qui rend la maison semi-enterrée réellement accessible à un autoconstructeur, **sans que Canopée n'endosse la responsabilité décennale d'un maître d'œuvre**. C'est la condition pour passer de la « solution ultime sur le papier » au « projet effectivement réalisable ».

**En veille / écarté pour l'instant** : les kits propriétaires non homologués CSTB (Green Magic Homes...), inutilisables comme habitation principale en France sans démarche spécifique, et les **bottes de paille porteuses** (technique Nebraska), non assurables en décennale faute d'Avis Technique. La paille reste pertinente **en remplissage sur ossature bois** (Règles Professionnelles CP 2012/2020) pour des bâtiments de surface, mais ce n'est pas le choix structurel principal de Canopée pour ses projets d'habitat résilient.

SYNTHÈSE

# Feuille de route & synergies

*Une vue d'ensemble des actions de Canopée — feuille de route par axe et par horizon, graphe des synergies entre projets (compétences et ressources partagées), formations transversales et actions rémunératrices pour l'association.*

Les trois parties précédentes ont, chacune, abouti à un « *Choix de Canopée* ». Cette synthèse les rassemble en une seule vue : **quelles actions, dans quel ordre**, et surtout **ce qu'elles ont en commun**. Car les projets de Canopée, en apparence séparés (un jardin, un moteur, une maison), mobilisent en réalité un **petit nombre de gestes et de matières partagés** — l'eau, la terre, le bois, le métal, le feu, la pierre. Identifier ces recoupements est la clé d'une association à moyens limités : une même formation, un même atelier, un même outil servent plusieurs projets.

■ Résilience alimentaire   ■ Autonomie énergétique   ■ Construction / habitat   ■ Transversal

## 1. Feuille de route — par axe et par horizon

Le tableau ci-dessous **croise les deux classifications** des actions de Canopée : leur **axe** (alimentaire · énergie · habitat · transversal, en colonnes) et leur **horizon** de mise en œuvre (court · moyen · long terme, en lignes). Chaque action se lit ainsi à la fois selon « quel domaine » et « quand ». L'ordre temporel suit une **logique économique** : commencer par ce qui coûte peu, se met en œuvre simplement et profite tout de suite au quotidien des membres ; reporter les projets plus lourds ou techniquement exigeants.

Horizon	■ Alimentaire	■ Énergie	■ Habitat	■ Transversal
<b>Court</b> 0-1 an	Maraîchage — <i>en cours</i> Amendements (biochar, purins) — <i>retenu</i>	Carburant HVP ◆ — à <i>impl.</i> Cuisinière de masse — à <i>impl.</i> (2 <sup>e</sup> )	Abri de jardin — à <i>généraliser</i>	Ateliers maréchage agro-écologique
<b>Moyen</b> 1-3 ans	Four de carbonisation ◆ — <i>projet</i> Céréales anciennes — <i>expérim.</i>	Four solaire LyteFire — <i>projet</i> Gazogène + GE Bernard ◆ — <i>projet</i>	—	Ateliers métal & maçonnerie
<b>Long</b> 3-5 ans +	—	Éolienne Piggott → pompe ◆ — <i>projet</i>	Maison semi-enterrée ◆ — <i>projet phare</i> Pisé / paille — <i>veille</i>	Conseil technique & formations payantes

◆ **Étude détaillée à produire** — voir Annexes, « Documents d'étude par thème ». Les coûts d'entrée figurent dans les sections « Choix de Canopée » de chaque partie.

Feuille de route **indicative et glissante** : elle dépend des ressources, des opportunités (don de matériel, gisement de biomasse, foncier) et de l'engagement des membres. Les horizons peuvent se chevaucher — rien n'interdit de démarrer plus tôt un projet « moyen terme » si une compétence ou un financement se présente.

## 2. Synergies entre projets — le graphe des parallèles

Présentés axe par axe, les projets semblent indépendants. Croisés par **compétence et ressource mobilisée**, ils se regroupent en quelques **familles** : c'est là que se trouvent

les économies d'échelle de Canopée. La matrice ci-dessous lit chaque projet (en ligne) à travers les gestes techniques transversaux (en colonne).

Projet	Eau	Terre	Bois	Métal	Feu	Pierre	Études
■ Maraîchage bio-intensif	✓	✓	✓		✓ (biochar)		
■ Four de carbonisation			✓	✓	✓		✓
■ Céréales (transformation)	✓		✓	✓ (outils)			✓
■ Gazogène + GE Bernard			✓	✓	✓	✓	✓
■ Cuisinière de masse			✓	✓	✓	✓	
■ Carburant HVP				✓			
■ Four solaire LyteFire				✓	✓		✓
■ Éolienne Piggott + pompe	✓			✓			✓
■ Abri de jardin	✓	✓ (jardins)	✓	✓			✓
■ Maison semi-enterrée	✓	✓ (sol+toit)	✓	✓	✓ (poêle)	✓	✓
■ Pisé / paille		✓	✓			✓	✓

**Lecture des colonnes** — **Eau** : irrigation, pompage, récupération · **Terre** : terrassement, pisé, sol cultivé · **Bois** : structure & combustion / biomasse · **Métal** : cuves, fours, outillage · **Feu** : combustion (biochar, poêle, gazogène) · **Pierre** : maçonnerie & béton réfractaire · **Études** : DAO / conception.

**Les « parallèles » à exploiter** : une colonne très cochée révèle une compétence qui sert plusieurs projets — donc **un atelier ou une formation à mutualiser en priorité**.  
Le **métal** traverse presque tout le tableau ; la  **pierre** (maçonnerie & réfractaire) relie le chauffage et l'habitat ; les **études** (DAO) relie l'éolienne, le four solaire et l'habitat ; l'**eau** relie le jardin, l'éolienne-pompe et les bâtiments.

## 2.1. Famille « feu · métal · bois »

Trois projets reposent sur le **même geste** — brûler du bois à haute température dans une enceinte métallique et réfractaire — pour trois usages différents :

**Entrant commun** : bois / biomasse d'élagage · **Enceinte** : métal + réfractaire · **Cœur** : combustion > 600 °C

├─ ■ **Four de carbonisation** (cuve acier) → biochar + vinaigre de bois — Partie I

├─ ■ **Gazogène fixe** (cuve acier + mortier réfractaire) → syngas → moteur Bernard → électricité — Partie II

└─ ■ **Cuisinière de masse** (fût acier + béton moulé réfractaire + plancha acier) → chaleur + cuisson — Partie II

**Compétences partagées** : soudure / chaudronnerie · maçonnerie réfractaire · conduite de la combustion

Une même montée en compétence (soudure une enceinte étanche, maçonner du réfractaire, piloter une combustion propre) **capitalise sur les trois projets à la fois**. C'est

l'illustration la plus nette du principe de cette synthèse : **ne pas raisonner projet par projet, mais geste par geste.**

## 2.2. Autres familles

Élément	Projets reliés & geste commun
<b>Eau</b>	Irrigation des parcelles, éolienne → pompage, récupération de pluie (cuves IBC des abris), drainage et toit végétalisé de la maison enterrée → <b>hydraulique, plomberie, stockage</b>
<b>Terre</b>	Maison semi-enterrée (terrassement, remblai, toiture-terre), pisé (terre crue), sol cultivé des parcelles → <b>terrassement, terre crue, agronomie</b>
<b>Bois</b>	Charpente (toiture-terre, abris, pales d'éolienne) ; biomasse d'élagage : branches > 5 cm → four de carbonisation, plaquettes 2-5 cm → gazogène, BRF → paillage → <b>menuiserie, broyage, séchage</b>
<b>Métal</b>	Éolienne (acier, soudure), gazogène (cuve), cuisinière de masse (fût), four de carbonisation (retort), four solaire (structure + miroirs), abris (tôle, fixations), HVP (cuves, plomberie carburant) → <b>soudure, chaudronnerie, perçage</b>
<b>Pierre</b>	Cuisinière / poêle de masse (briques), four solaire (socle), maison semi-enterrée (béton banché, dalle), fondations d'abris → <b>maçonnerie, béton, réfractaire</b>
<b>Études</b>	Maison semi-enterrée (plans, calcul de structure), pales d'éolienne (gabarits, profil), four solaire (géométrie focale), abris (plans de coupe) → <b>modélisation 3D, plans cotés</b>

## 3. Compétences & formations transversales

Les familles ci-dessus se traduisent directement en un **programme d'ateliers**. Chaque atelier sert plusieurs projets — et devient lui-même une **action rémunératrice** lorsqu'il est ouvert au public (voir section suivante).

Atelier / formation	Sert les projets	Priorité
Soudure & travail du métal (MMA/MIG)	Éolienne, gazogène, cuisinière de masse, four de carbonisation, four solaire, abris	Élevée
Maçonnerie & réfractaire	Cuisinière/poêle de masse, four solaire, maison semi-enterrée, fondations	Élevée
DAO / modélisation 3D (Rhino 3D)	Habitat semi-enterré, pales d'éolienne, plans d'abris	Moyenne
HVP & mécanique des moteurs anciens	Carburant tracteur & fourgon	Moyenne
Maraîchage bio-intensif & plan de culture	Toutes les parcelles	Élevée
Boulangerie & transformation solaire	Four solaire (pain, pois-chiches torréfiés)	Faible

## 4. Actions rémunératrices pour Canopée

Une association à moyens limités a besoin de **ressources propres**. La plupart des projets de ce guide peuvent, une fois maîtrisés, **générer un revenu** — auprès des membres ou d'un public plus large — qui finance à son tour les projets suivants. Toutes s'appuient sur des compétences déjà mobilisées par les familles ci-dessus : **aucune n'exige d'investissement nouveau majeur**.

Action rémunératrice	Public	S'appuie sur
Location de parcelles	Membres	Activité de base de l'association
Stages & formations payantes	Public / membres	Tous les ateliers transversaux (métal, maçonnerie, DAO, maraîchage, paille, poêle de masse, éolienne, HVP, boulangerie solaire)
Conseil technique habitat (OLT, ingénieur structures, en CESU)	Membres / tiers (maîtres d'ouvrage)	Ingénierie structure + DAO — hors maîtrise d'œuvre, sans RCD
Vente d'amendements (biochar activé en sacs, vinaigre de bois)	Public / jardiniers	Four de carbonisation
Vente de produits transformés (pain, pois-chiches torréfiés, légumes, semences)	Public / marchés	Parcelles + four solaire
Fabrication & vente de cuisinières de masse (licence open-source)	Public	Atelier métal + maçonnerie
Pyrolyse à façon / production de biochar sur gisement	Collectivités, agriculteurs	Four de carbonisation (mobile)
Prestations métal & chaudronnerie (outils, serres, réparations)	Public / membres	Atelier métal
Location de matériel mutualisé (motoculteur, broyeur, four solaire)	Membres	Parc d'équipements partagé
Animations pédagogiques, visites de site, accueil scolaire	Public, écoles	L'ensemble du site comme démonstrateur

**Sources de financement complémentaires** (non commerciales) : adhésions et dons, mécénat, et subventions ciblées — ADEME (biochar, gazéification, sobriété), Région Sud / PNR (agroécologie, énergie), fondations (transition, ruralité). Ces financements visent de préférence l'**amorçage des projets « moyen/long terme »** (four de carbonisation, gazogène, premier chantier d'habitat), là où l'autofinancement par les actions ci-dessus est encore insuffisant.




**Le fil conducteur.** Chaque euro investi dans une **compétence transversale** (souder, maçonner, concevoir) sert plusieurs projets **et** ouvre une activité rémunératrice. C'est ce bouclage — compétence partagée → projet réalisé → revenu → projet suivant — qui rend la feuille de route de Canopée soutenable malgré des moyens modestes.


## Documents annexes

Cette section rassemble des documents d'intérêt, à ouvrir au format PDF en cliquant sur une vignette ou un titre : d'une part les **notes techniques éditées par Canopée** (théorie, recettes exactes, calculs, tests de réussite), d'autre part des **documents de référence d'auteurs externes** que nous citons pour approfondir. Les tableaux sont générés automatiquement à partir des documents présents.

### Notes techniques éditées par Canopée

#### Résilience alimentaire

	<h3>Biostimulants fermentés</h3> <p>De la théorie microbienne aux recettes : litière forestière fermentée (lifofer), bokashi et purins de plantes</p> <p>Réf. NT-P1-01 · <a href="#">ouvrir la note (PDF)</a> →</p>
	<h3>Cultiver le haricot sec en plein champ</h3> <p>Produire des protéines végétales de qualité sur d'anciennes friches de la plaine de Durance-Luberon</p> <p>Réf. NT-P1-03 · <a href="#">ouvrir la note (PDF)</a> →</p>
	<h3>Lutter contre le mildiou de la pomme de terre</h3> <p>Prévenir et gérer le Phytophthora infestans en agriculture biologique pour sécuriser la récolte</p> <p>Réf. NT-P1-04 · <a href="#">ouvrir la note (PDF)</a> →</p>

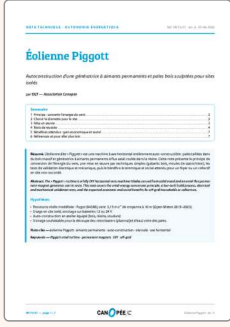


## Potentiel redox et pH des sols

Comprendre, mesurer et piloter le couple Eh-pH : un cadre pour la santé du sol et des cultures

Réf. NT-P1-02 · [ouvrir la note \(PDF\)](#) →

## Autonomie énergétique




## Éolienne Piggott

Autoconstruction d'une génératrice à aimants permanents et pales bois sculptées pour sites isolés

Réf. NT-P2-01 · [ouvrir la note \(PDF\)](#) →

## Construction bio-climatique



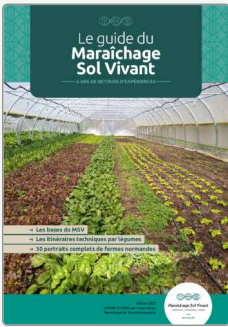
## Diagnostics des ouvrages d'art en béton, acier et maçonnerie

Compendium des méthodes d'auscultation, d'essais non destructifs et d'évaluation des pathologies structurelles

Réf. NT-P3-01 · [ouvrir la note \(PDF\)](#) →

## Documents de référence (auteurs externes)

## Résilience alimentaire

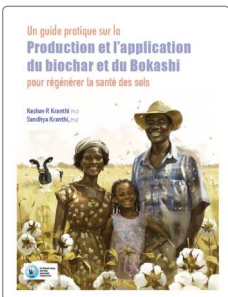


RÉFÉRENCE EXTERNE

**Guide du maraîchage sur sol vivant (MSV)** – Association Maraîchage Sol Vivant Normandie (2022)

Document de référence externe sur les pratiques de maraîchage sur sol vivant : couverture permanente, non-travail du sol, fertilité biologique.

Réf. DE-P1-01 · ouvrir le document (PDF) → [source en ligne ↗](#)



RÉFÉRENCE EXTERNE

**Guide pratique sur la production et l'application de biochar et du bokashi pour régénérer la santé des sols** – Keshav R Krantti, Ph.D & Sandhya Krantti, Ph.D (2025)

Ce manuel est une ressource essentielle pour les agriculteurs cherchant à exploiter ces puissants amendements de sol.

Réf. DE-P1-02 · ouvrir le document (PDF) → [source en ligne ↗](#)

**Autonomie énergétique**



ÉDITÉ PAR CANOPÉE

**Réseau d'arrosage — dimensionnement hydraulique** – Olivier

TURLIER (OLT) (v7 · avril 2026)

Note de calcul complète du réseau d'irrigation de la parcelle Durance : motopompe diesel, nourrice PEHD PN6 DN63 et rampes d'asperseurs autorégulants. Méthode (Darcy-Weisbach, facteur de frottement par Colebrook-White, rampes à prises multiples par Christiansen), enseignement clé du passage DN32→DN63, comparaison de cinq scénarios de rampes et script Python paramétrique pilotant l'ensemble.

Réf. DE-P2-01 · ouvrir le document (PDF) →

# Annexes

---

## 1. Ressources et références

---

### 1.1. Résilience alimentaire

- *Maraîchage bio-intensif sur petite surface* — Eliot Coleman
- *L'agriculture naturelle* — Masanobu Fukuoka
- Site Réseau Semences Paysannes : [semencespaysannes.org](http://semencespaysannes.org)

[À compléter selon les lectures et retours d'expérience des membres.]

### 1.2. Autonomie énergétique

- Documentation éolienne Piggot : [scoraigwind.co.uk](http://scoraigwind.co.uk)
- Association Tripalium (éoliennes participatives) : [tripalium.org](http://tripalium.org)
- Réseau HVP France (huile végétale carburant) : [À compléter]

### 1.3. Construction bio-climatique

- *Construire en paille* — André de Bouter
- *Pisé — Patrimoine et création* — Hugo Houben & Hubert Guillaud
- CRAterre (centre de recherche sur les architectures de terre) : [craterre.org](http://craterre.org)

## 2. Contacts utiles

---

Structure	Domaine	Contact
Le Café Villageois	Partenaire — accès jardins	[À compléter]
Association Canopée — Bureau	Administration	contact@canopee.org
OLT (Olivier TURLIER)	Président — conseil technique autoconstruction	[À compléter]

## 3. Statuts et règlement intérieur

---

Les statuts de l'association sont disponibles auprès du bureau ou consultables sur [canopee.org](http://canopee.org). Le règlement intérieur précise les modalités de location des jardins, les tarifs et les obligations des membres.

## 4. Théories et calculs

Cette section rassemble, **action par action**, les fondements et des **exemples de calcul** des projets que Canopée souhaite implémenter. Comme l'ensemble du guide, elle reste **démonstrative** : ces exemples, volontairement **condensés**, illustrent la **démarche d'ingénierie** qui sous-tend chaque choix — et montrent qu'une réflexion construite précède l'implémentation.

Le détail complet de chaque sujet relève d'un **document d'étude dédié**, recensé ci-dessous. Certains existent déjà (tel le dimensionnement hydraulique) ; les autres seront produits au fil des projets.

### 4.1. Documents d'étude par thème

Thème	Document d'étude détaillé	Statut
Irrigation Durance — hydraulique	Note hydraulique paramétrique (v7, 2026)	Réalisée
Toiture-terre & structure (semi-enterré)	Descente de charges + murs / fondations	À produire
Ventilation & air comburant	Renouvellement d'air (habitat + poêle)	À produire
ECS solaire thermique	Dimensionnement chauffe-eau solaire	À produire
Électricité PV + batteries	Dimensionnement off-grid (PV, stockage)	À produire
Gazogène + groupe Bernard	Bilan énergie & stockage du bois	À produire
Éolienne Piggott + pompe	Étude de vent & couplage pompe	À produire
Carburant HVP	Bilan consommation & stockage	À produire

Chaque ligne « à produire » correspond à une note de calcul complète, sur le modèle du dimensionnement hydraulique. Les exemples ci-dessous n'en sont que l'esquisse chiffrée, destinée à illustrer la démarche au lecteur du guide.

### 4.2. Réseau d'irrigation Durance — dimensionnement hydraulique

Premier sujet à avoir fait l'objet d'une **note de calcul complète**, le dimensionnement du réseau d'irrigation de la parcelle Durance — motopompe diesel, nourrice PEHD PN6 DN63 et rampes d'asperseurs autorégulants — est **disponible en intégralité** dans la section **Documents annexes** du présent guide (vignette « Édité par Canopée », réf. DE-P2-01).

La note y développe la **méthode** (Darcy-Weisbach, facteur de frottement par Colebrook-White, rampes à prises multiples par Christiansen), l'enseignement clé du passage **nourrice DN32 → DN63** — les pertes linéaires variant en  $Q^2/D^5$ , doubler le diamètre intérieur les divise par 32 à débit constant —, la comparaison de **cing scénarios** de rampes et le **script Python paramétrique** qui pilote l'ensemble.

Tous les scénarios étudiés sont fonctionnels en nourrice DN63 sans filtre : la pression au dernier asperseur de la rampe critique dépasse 0,9 bar. Le filtre DN32 prévu étant incompatible avec la nourrice DN63, une filtration DN63/DN80 (hydrocyclone + filtre à sable) reste à prévoir.

### 4.3. Toiture-terre — descente de charges (habitat semi-enterré)

La toiture d'une maison semi-enterrée porte la **terre** qui assure inertie, étanchéité et végétalisation : sa charge ( 9–10 kN/m<sup>2</sup>) vaut près de **dix fois** celle d'une toiture courante. L'empilage type — charpente bois, isolant incompressible, voile d'indépendance, étanchéité EPDM, protection mécanique, drainage, géotextile, terre et plantes — est **dominé par la terre saturée** (40 cm × 18 kN/m<sup>3</sup> ≈ 7,2 kN/m<sup>2</sup>).

**Calcul express.** Charge permanente  $G_k \approx 9\{, \}3$  kN/m<sup>2</sup> ; avec les charges variables, ELU ≈ **15 kN/m<sup>2</sup>**. Pour 4 m de portée à 50 cm d'entraxe, des **solives bois C24 100 × 300 mm** suffisent (flèche < L/250). La terre épaisse impose de dimensionner **aussi murs et fondations** (poussée des terres) — calcul de structure à valider à l'Eurocode 5.

### 4.4. Renouvellement d'air — habitat étanche chauffé au bois

Un habitat semi-enterré est **très étanche** : l'air **hygiénique** et l'air **comburant** du poêle doivent être amenés par deux circuits **indépendants**.

**Calcul express.** Volume 250 m<sup>3</sup> → air hygiénique  $Q = n \cdot V = 0\{, \}5 \cdot 250 = 125$  m<sup>3</sup>/h (VMC double flux). Poêle brûlant 8 kg/h → air comburant **60 m<sup>3</sup>/h**, soit une **amenée dédiée Ø 150 mm sur foyer étanche. Détecteur de CO obligatoire** — sans amenée directe, le poêle met l'habitat en dépression et risque le refoulement des fumées.

### 4.5. Eau chaude solaire — capteurs thermiques (famille de 4, Luberon)

**Calcul express.** Besoin : 4 × 50 L/j à 45 °C = 200 L/j,  $\Delta T = 33$  K →  $E = m \cdot c \cdot \Delta T \approx 7\{, \}7$  kWh/j ( 2 800 kWh/an). Productivité utile d'un capteur plan plein sud en Luberon 500 kWh/m<sup>2</sup>/an ; pour 70 % de couverture → ≈ **4 m<sup>2</sup> de capteurs + ballon 250–300 L** (règle « 1 m<sup>2</sup>/personne »). Au-delà, surchauffe estivale — l'appoint d'hiver vient du poêle bouilleur (Partie II).

### 4.6. Électricité solaire — photovoltaïque et batteries (consommation sobre)

**Calcul express.** Habitat sobre (chauffage et cuisson au bois, pas de climatisation) ≈ **4 kWh/j. PV ≈ 3 kWc** ( 15 m<sup>2</sup>) couvre l'année mais pas le creux hivernal ; **batterie LiFePO<sub>4</sub> ≈ 10 kWh** ( $C = E \cdot N / DoD = 4 \cdot 2/0\{, \}8$ ) pour 2 jours d'autonomie. La résilience réelle vient de l'**hybridation avec le gazogène** (Partie II) l'hiver, quand le soleil manque mais que le bois est là.

### 4.7. Notes de calcul à développer

Au-delà des esquisses ci-dessus, restent à produire (cf. tableau *Documents d'étude par thème*) :

- le **stockage du bois** (volume couvert, séchage) pour gazogène et poêles
- le couplage **éolienne** → **pompe d'irrigation** (volume pompé « au fil du vent », bassin tampon)
- le **bilan thermique du four de carbonisation**
- et le **bilan annuel du carburant HVP** (consommation, stockage, coût).

[À développer au fil des projets.]

## Bibliographie

---

- [1] J.-M. Fortier, *Le jardinier-maraîcher : Manuel d'agriculture biologique sur petite surface*, 2e éd. Écosociété, 2012.
- [2] Institut jardinier-maraîcher, « Maraîchage bio-intensif : qu'est-ce que la culture en planches permanentes ? ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://lejardiniermaraicher.com/agriculture/maraichage-bio-intensif-quest-ce-que-la-culture-en-planches-permanentes/>
- [3] Institut jardinier-maraîcher, « 5 bonnes raisons d'adopter la méthode d'agriculture bio-intensive ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://lejardiniermaraicher.com/agriculture/5-bonnes-raisons-dadopter-la-methode-dagriculture-bio-intensive-2/>
- [4] « Maraîchage bio intensif : comment Cultive veut déployer la méthode de Jean-Martin Fortier en France », 2023, *Réussir — Portail agricole*. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.reussir.fr/maraichage-bio-intensif-comment-cultive-veut-deployer-la-methode-de-jean-martin-fortier-en-france>
- [5] S. Dubuisson-Quellier et C. Lamine, « Malgré le succès du bio, des travailleurs confrontés à la pénibilité et à l'incertitude », 2020, *The Conversation*. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://theconversation.com/malgre-le-succes-du-bio-des-travailleurs-confrontes-a-la-penibilite-et-a-lincertitude-132048>
- [6] K. Morel et F. Léger, « Maraîchage biologique permaculturel et performance économique », INRAE / AgroParisTech, 2017. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Fevrier-2017-rapport-6-Etude-INRA-AgroParisTech-maraichage-biologique-permaculturel-et-performance-economique.pdf>
- [7] « BioAgriGroup — Biochar Production Units ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://bioagrigrp.co.za/biochar/>
- [8] « Carbon Offset Zone — Mobile Retort Biochar Units (Series II/III) ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://carbonoffsetzone.com/>
- [9] J.-C. Adam, « Improved and more environmentally friendly charcoal production system using a low-cost retort-kiln (Eco-charcoal) », 2009.
- [10] K. Tiilikkala, L. Fagernäs, et J. Tiilikkala, « History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection Product », 2010.
- [11] J. Lehmann et S. Joseph, *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, 2009.

- [12] Terra Fertilis, « Biochar pour maraîchage — rendements boostés ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://terrafertilis.com/biochar-pour-maraichage-rendements-boostes/>
- [13] « Litière Forestière Fermentée (LiFoFer) ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: [https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Liti%C3%A8re\\_foresti%C3%A8re\\_ferment%C3%A9e](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Liti%C3%A8re_foresti%C3%A8re_ferment%C3%A9e)
- [14] « La litière forestière fermentée (LiFoFer) en maraîchage biologique ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.maraichagetechnique.com/la-litiere-forestiere-fermentee-lifofer-en-maraichage-biologique/>
- [15] « Forum poêle de masse open-source — développement batchblock et DSR ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://forum.poeledemasse.org/>
- [16] « Petit poêle de masse et cuisinière de masse — foyer DSR en béton réfractaire ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://outils-autonomie.fr/cuisiniere-de-masse/>
- [17] « Uzume — poêles de masse batchblock, plans open-source et kits autoconstruction ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.uzume.fr/>
- [18] « Aezeo — poêle bouilleur, solaire thermique, plancher chauffant et ECS intégrés ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://aezeo.com/>
- [19] V. Olgyay, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, 1963.
- [20] « Lifehaus : concept house inspiré du earthship en mode passif et low-cost ». Consulté le: 4 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.build-green.fr/lifehaus-concept-house-inspire-du-earthship-en-mode-passif-et-low-cost/>
- [21] A. Liébard et A. De Herde, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur, 2005.
- [22] « Puits climatiques — Conception et dimensionnement, installation et mise en service, entretien et maintenance », Programme RAGE (Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012) / ADEME, 2015. Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.geothermies.fr/outils/guides/guide-puits-climatiques-neuf-ou-renovation-conception-et-dimensionnement-installation>
- [23] J.-M. Pupille, « Efficacité du couplage entre puits canadien classique et VMC Double Flux ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://passivact.fr/Concepts/files/PuitsClimatique-EfficaciteCouplage-PC-VMCDF-Hiver.html>
- [24] « Constructeurs de maisons enterrées — répertoire international ». Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://habitat-bulles.com/constructeurs-de-maisons-enterrees/>

# Glossaire

---

## 1. Agriculture

**agroécologie – agroécologie:** Approche agricole qui s'appuie sur les processus et la biodiversité des écosystèmes pour concevoir des systèmes de production durables, en réduisant ou éliminant les intrants de synthèse.

**biochar – biochar:** Charbon végétal produit par pyrolyse de biomasse à basse température en atmosphère pauvre en oxygène. Amendement de sol favorisant l'activité microbienne, la rétention d'eau et le stockage de carbone.

**BRF – bois raméal fragmenté:** Broyat de jeunes rameaux (diamètre < 7 cm) utilisé en paillis ou en amendement de surface. Riche en lignine, il nourrit les champignons du sol en se décomposant lentement, améliorant la structure et la rétention d'eau.

**engrais vert – engrais vert:** Plante cultivée pour être enfouie dans le sol à l'état vert afin d'en améliorer la fertilité et la structure. Exemples : phacélie, trèfle incarnat, vesce, seigle fourrager.

**grelinette – grelinette:** Outil à 4–5 dents courbées (*broadfork* en anglais) permettant d'ameublir le sol profondément (25–30 cm) sans le retourner. Préserve la structure biologique du sol et les réseaux mycorhiziens, contrairement au labour qui inverse les horizons.

**maraîchage bio-intensif – maraîchage bio-intensif:** Méthode de culture en planche permanente visant à maximiser les rendements sur petite surface par une densité de plantation élevée, une couverture permanente du sol et des associations de cultures, sans travail du sol profond.

**mycorhize – mycorhize:** Association symbiotique entre un champignon et les racines d'une plante. Améliore considérablement l'absorption de l'eau et des minéraux (phosphore notamment). Les pratiques de labour détruisent ces réseaux qui mettent plusieurs années à se reconstituer.

**planche permanente – planche permanente:** Unité de base du maraîchage bio-intensif. Bande de sol cultivée de 75 cm de large, 15 à 30 m de long, légèrement surélevée (10–15 cm), qui reste en place d'une année sur l'autre. Accessible depuis chaque côté sans compaction du sol cultivé, séparée d'allées de 45 cm.

**purin – extrait fermenté de plantes:** Préparation liquide obtenue par macération de plantes fraîches ou sèches dans l'eau de pluie pendant 8 à 30 jours selon l'espèce. Utilisé dilué (2–10 %) comme biostimulant, engrais liquide ou traitement phytosanitaire préventif. Les plus courants en maraîchage : ortie (azote, fer), consoude (potassium), prêle (silice antifongique).

**rhizosphère – rhizosphère**: Zone du sol immédiatement au contact des racines, riche en micro-organismes (bactéries, champignons, nématodes) interagissant avec la plante. Le non-labour préserve l'activité de la rhizosphère, indispensable à la nutrition minérale.

**rotation culturale – rotation culturale**: Organisation pluriannuelle des cultures : chaque famille botanique (solanacées, cucurbitacées, brassicacées...) occupe une planche différente d'une année sur l'autre, selon un cycle de 3 à 4 ans. Limite l'épuisement du sol et la pression des ravageurs spécifiques.

**succession culturale – succession culturale**: Enchaînement de 2 à 4 cultures différentes sur la même planche au cours d'une même saison. Exemple : épinards de printemps → haricots verts d'été → mâche d'automne. Maximise le rendement annuel par mètre carré sans laisser le sol nu.

**vinaigre de bois – acide pyroligneux**: Condensat liquide brunâtre récupéré lors de la pyrolyse du bois à 200–300 °C. Mélange complexe d'acide acétique (3–6 %), de phénols, d'alcools et de cétones. Utilisé dilué (0,1–5 %) comme biostimulant végétal, fongicide, répulsif d'insectes et activateur de biochar. Doit vieillir 3 à 6 mois avant tout usage agricole.

## 2. Construction

**BHD – botte haute densité**: Balle de paille compressée à haute pression ( $\geq 120 \text{ kg/m}^3$ ), dimensions standard 36 × 47 × 90 cm. Utilisée comme matériau isolant en construction, conductivité thermique  $\lambda \approx 0,045\text{--}0,052 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

**déphasage thermique – déphasage thermique**: Temps que met une onde de chaleur à traverser une paroi. Un déphasage de 8 h ou plus garantit qu'une chaleur arrivant en surface l'après-midi n'atteint l'intérieur qu'en pleine nuit, participant au confort d'été.

**pisé – pisé**: Technique de construction en terre crue compactée par couches successives dans un coffrage. Offre une excellente inertie thermique et une empreinte carbone quasi nulle lorsque la terre est extraite sur site.

## 3. Juridique

**MOE – maître d'œuvre**: Entité (personne physique ou morale) chargée de concevoir, coordonner et superviser l'exécution de travaux pour le compte d'un maître d'ouvrage – mission engageant la responsabilité civile décennale (assurance RCD). Canopée **n'assure pas** la maîtrise d'œuvre et se limite à un rôle de conseil technique auprès de ses membres autoconstructeurs.

## 4. Énergie

**gazogène – gazogène**: Appareil qui convertit un combustible solide (bois, paille, coques de noix...) en gaz de synthèse (syngas) par pyrolyse et réduction partielle en atmosphère pauvre en oxygène.

**HVP – huile végétale pure:** Carburant d'origine végétale (tournesol, colza, soja...) utilisable sans transformation chimique dans les moteurs diesel anciens à injection indirecte.

**éolienne Piggot – éolienne Piggot:** Turbine éolienne à axe horizontal conçue par Hugh Piggot, documentée en open hardware et destinée à l'autoconstruction participative. Puissances typiques : 500 W à 3 kW.

**four de carbonisation – four de carbonisation mobile (pyrolyseur):** Four de pyrolyse à atmosphère confinée permettant de carboniser la biomasse en produisant du biochar, du vinaigre de bois et du syngas. Les modèles mobiles (transportables sur remorque) permettent de traiter la biomasse sur son site de production, limitant les transports. Production par lots (batch), distincte de la production continue.

**syngas – gaz de synthèse:** Mélange gazeux composé principalement de monoxyde de carbone (CO), d'hydrogène (H<sub>2</sub>) et d'azote (N<sub>2</sub>), produit par gazéification de la biomasse à haute température. Utilisable comme carburant de substitution pour les moteurs à explosion. 72