

CPIER Vallée
de la Seine



Vallée de la Seine

MAILLONS

Diffuser la construction bas carbone
inter-régionale

Comité de Pilotage de Sourçage



—
30/06/2022

zefco L'Atelier de la ville
en transition

georges

ingéneco
TECHNOLOGIES

LM Ingénieur

bmf

ARPE Normandie



ekopolis

UniLaSalle
Terre & Sciences

école nationale
supérieure
d'architecture
de paris-belleville



École
nationale supérieure
d'architecture
de Normandie

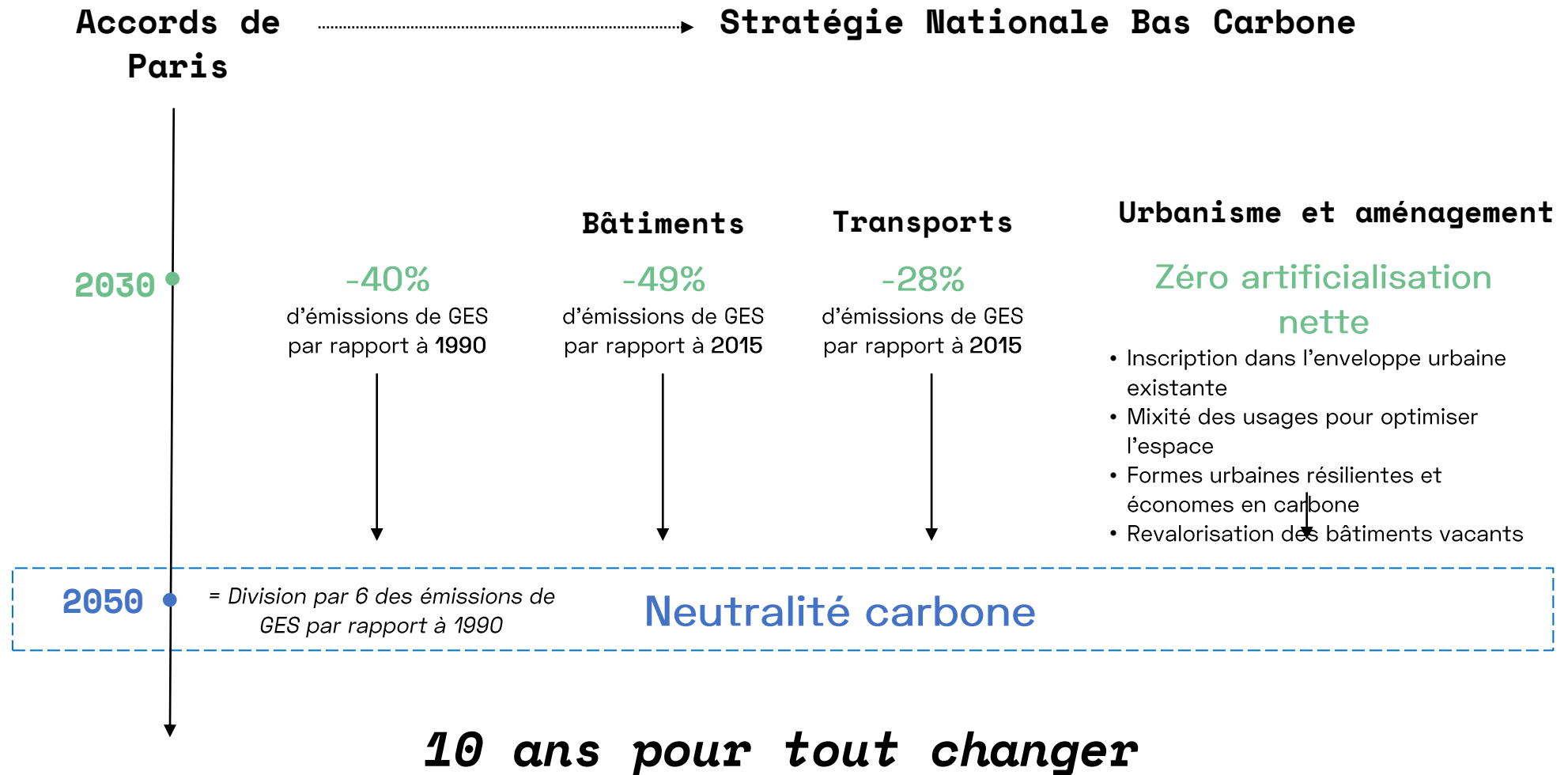


-
1. Le projet MAILLONS
 2. Sourçage de la commande
 3. Sourçage des filières
 4. Chainage avec les étapes suivantes

Le projet Maillons

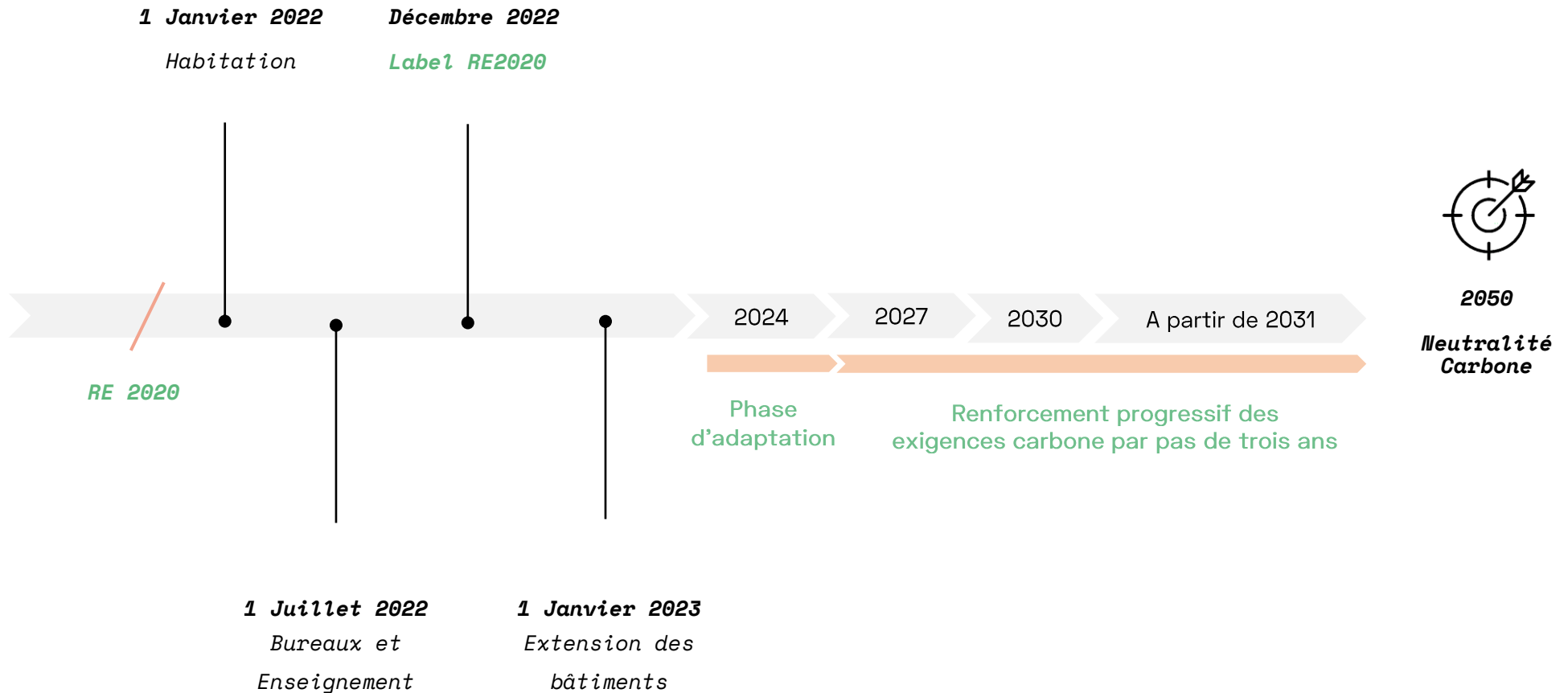
Accélérer la transition

Des forces de fond - des Accords de Paris à la SNBC



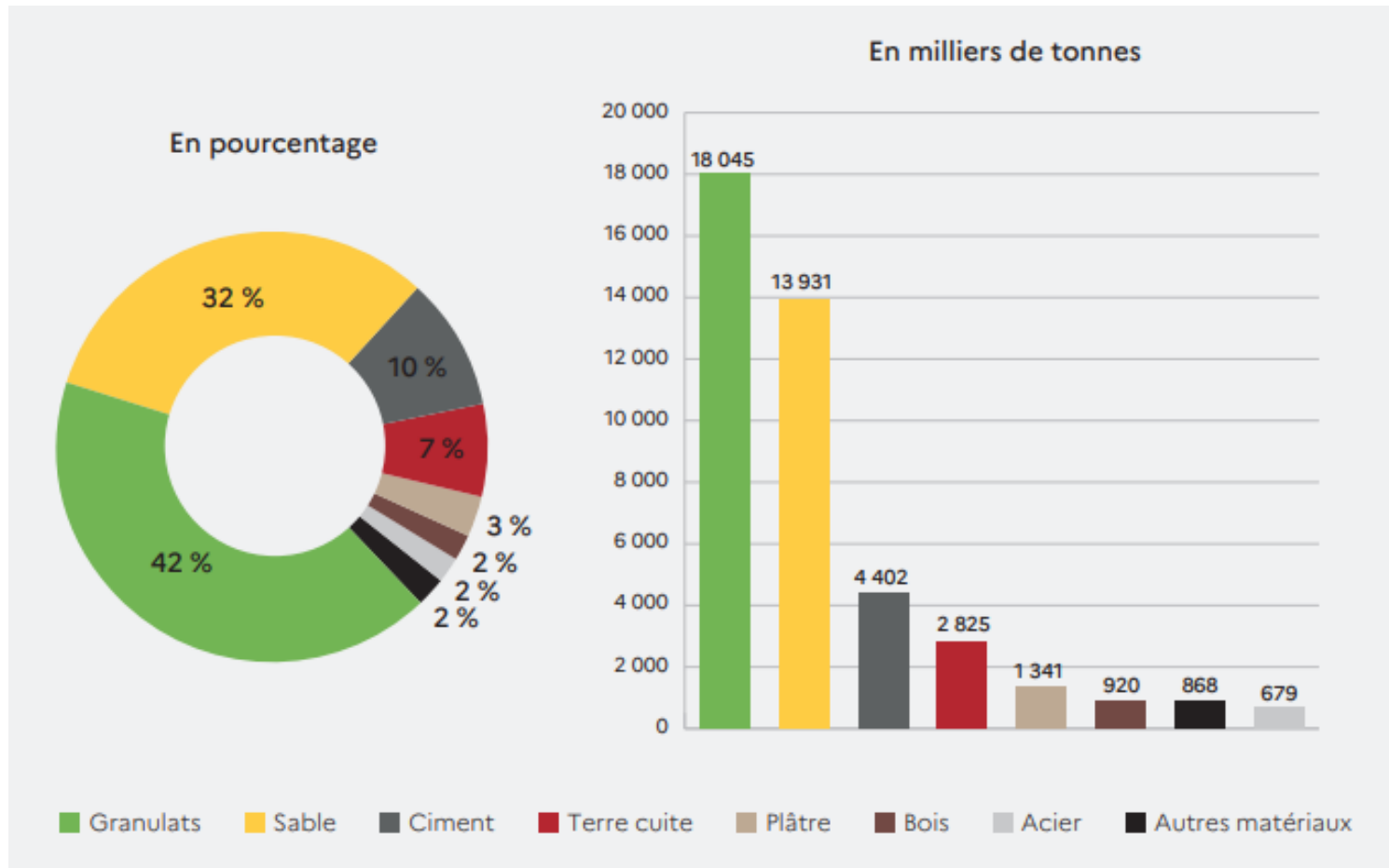
Accélérer la transition

Des forces de fond – l'échéancier RE2020



Accélérer la transition

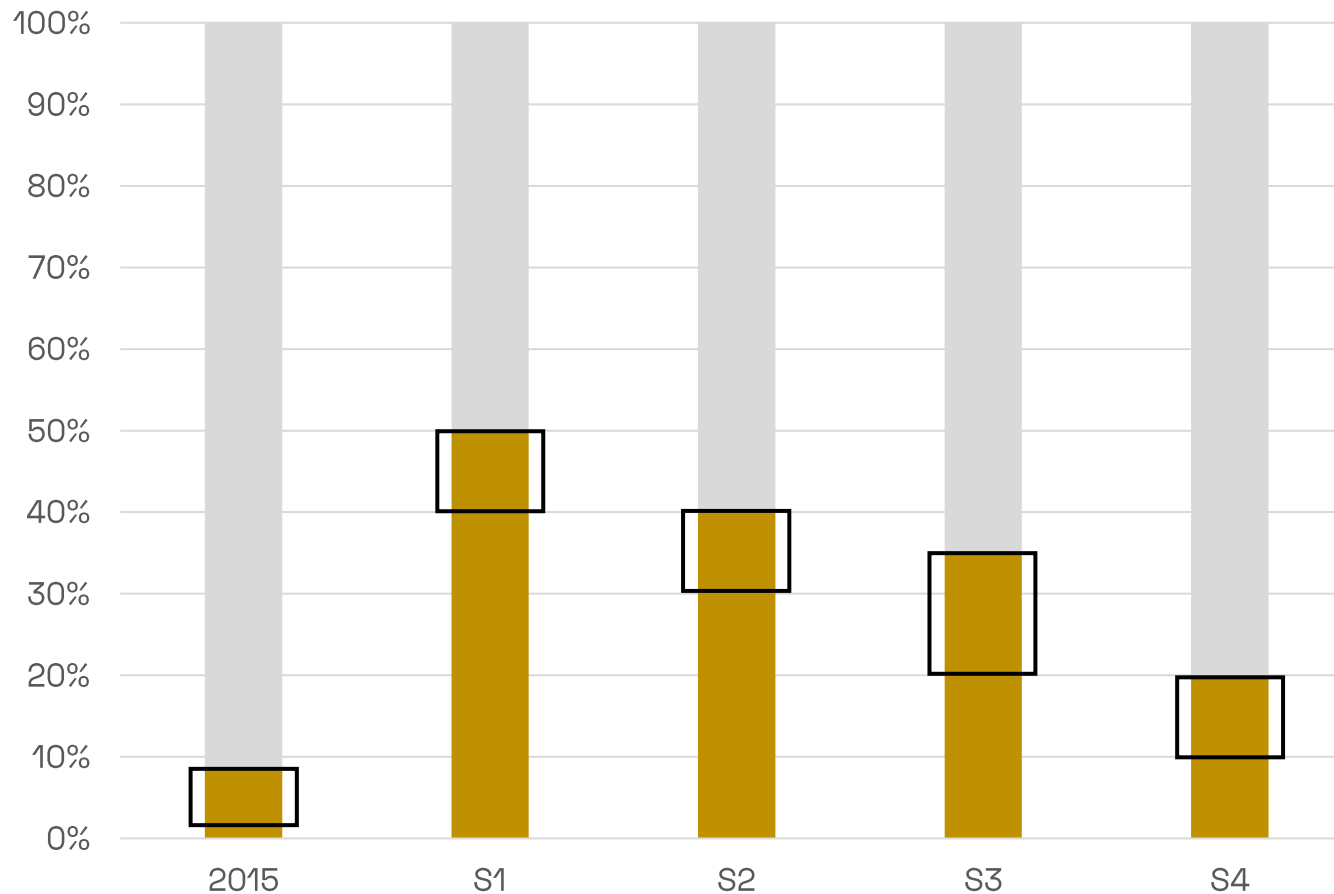
Bio&géosourcés, l'exception doit devenir la règle



Répartition des matériaux utilisés en construction neuve de logements en France en 2015. Source : Ademe, 2019

Accélérer la transition

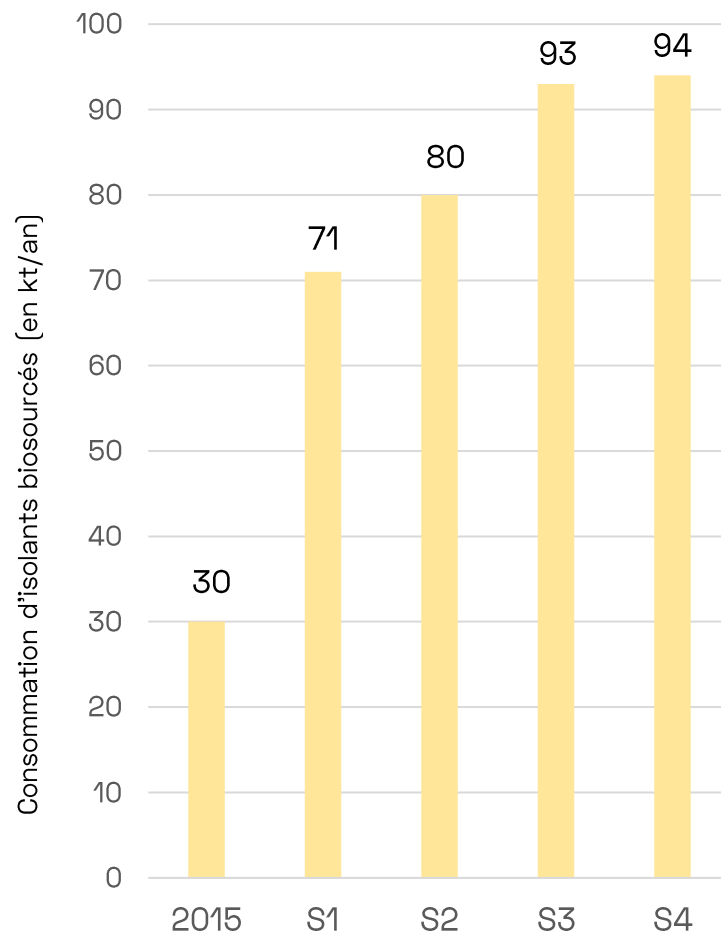
Bio&géosourcés, l'exception doit devenir la règle



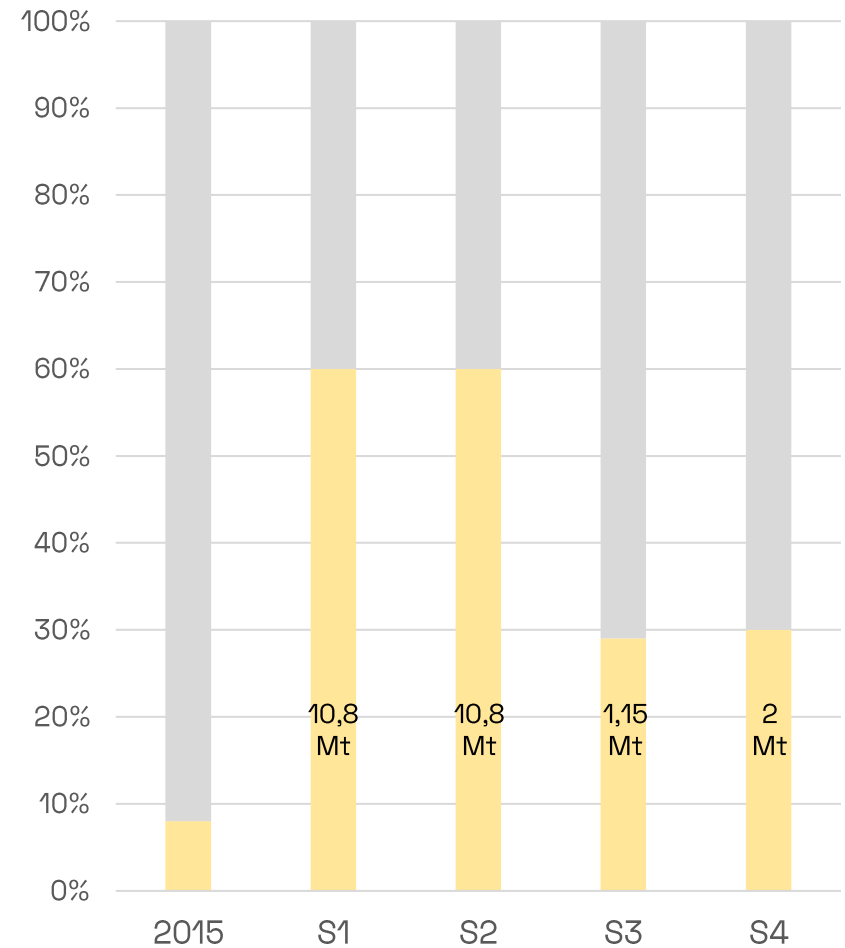
Part de marché de la construction bois dans la construction neuve (en surface de plancher) – Source des données : Ademe Transition 2050

Accélérer la transition

Bio&géosourcés, l'exception doit devenir la règle



Consommation moyenne d'isolants biosourcés (en kt/an) entre 2015 et 2050 pour la construction neuve, selon les scénarii Ademe Transition 2050



Part (et volume) d'isolants biosourcés en rénovation énergétique des logements de 2015 à 2050, selon les scénarii Ademe Transition 2050

Accélérer la transition

Bio&géosourcés, l'exception doit devenir la règle

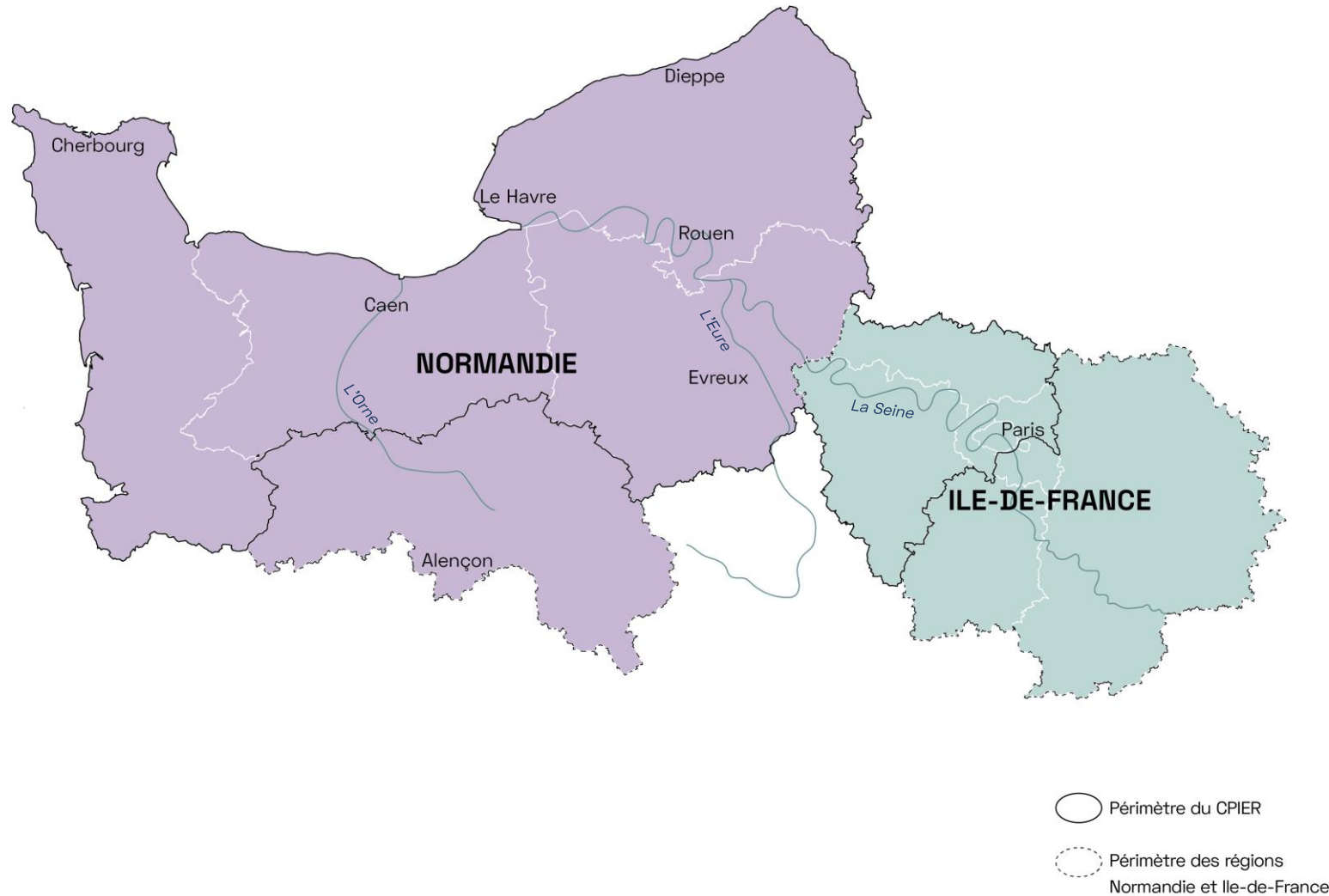


Bio&géosourcés : identifier les chaînons manquants



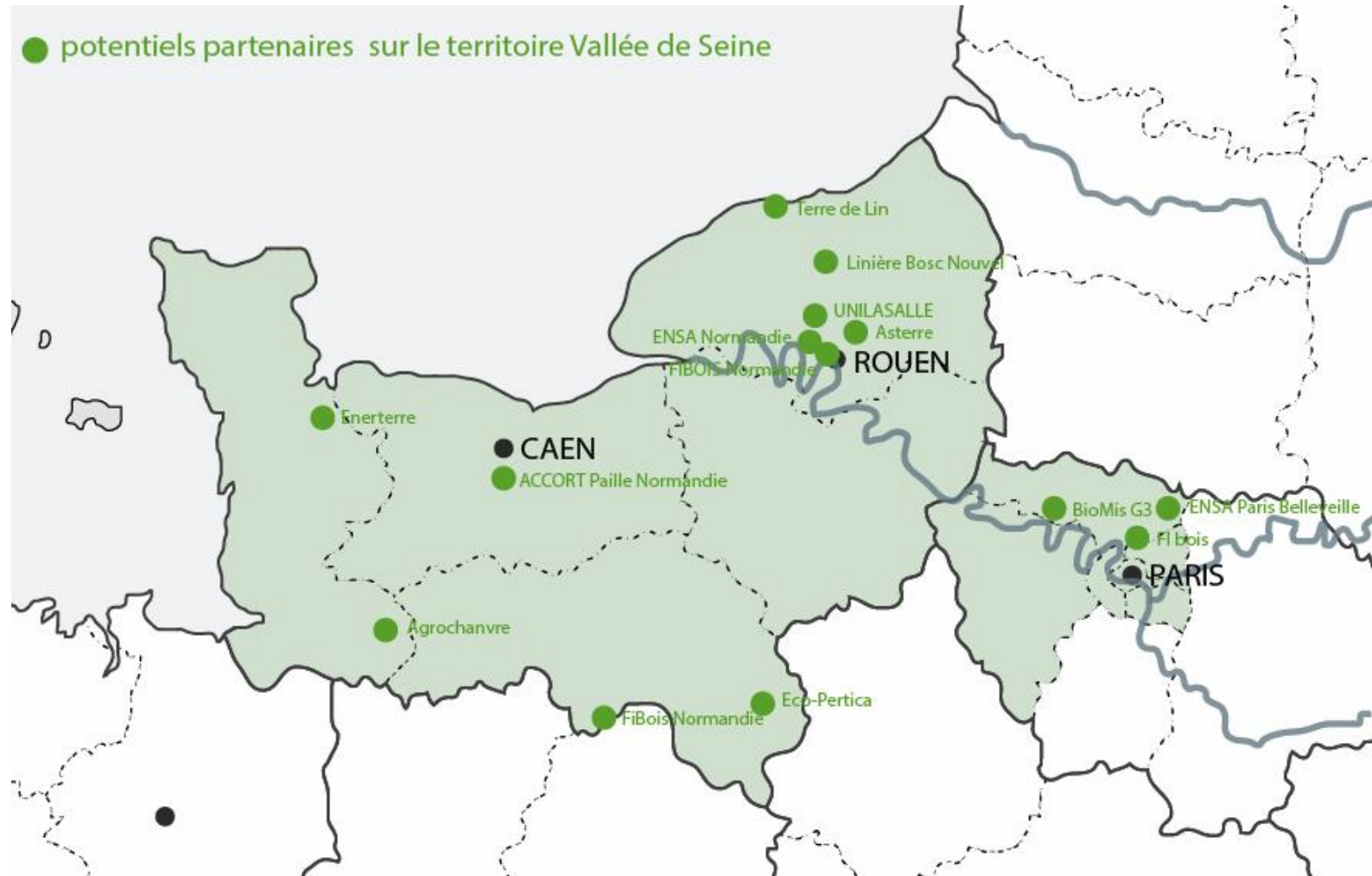
Le projet Maillons

Territoire d'étude



Le projet Maillons

Un territoire riche d'acteurs ressource



Le projet Maillons

Rassembler une équipe avec plusieurs regards



ARPE Normandie



georges

LM Ingénieur

zefco



école nationale
supérieure
d'architecture
de paris-belleville

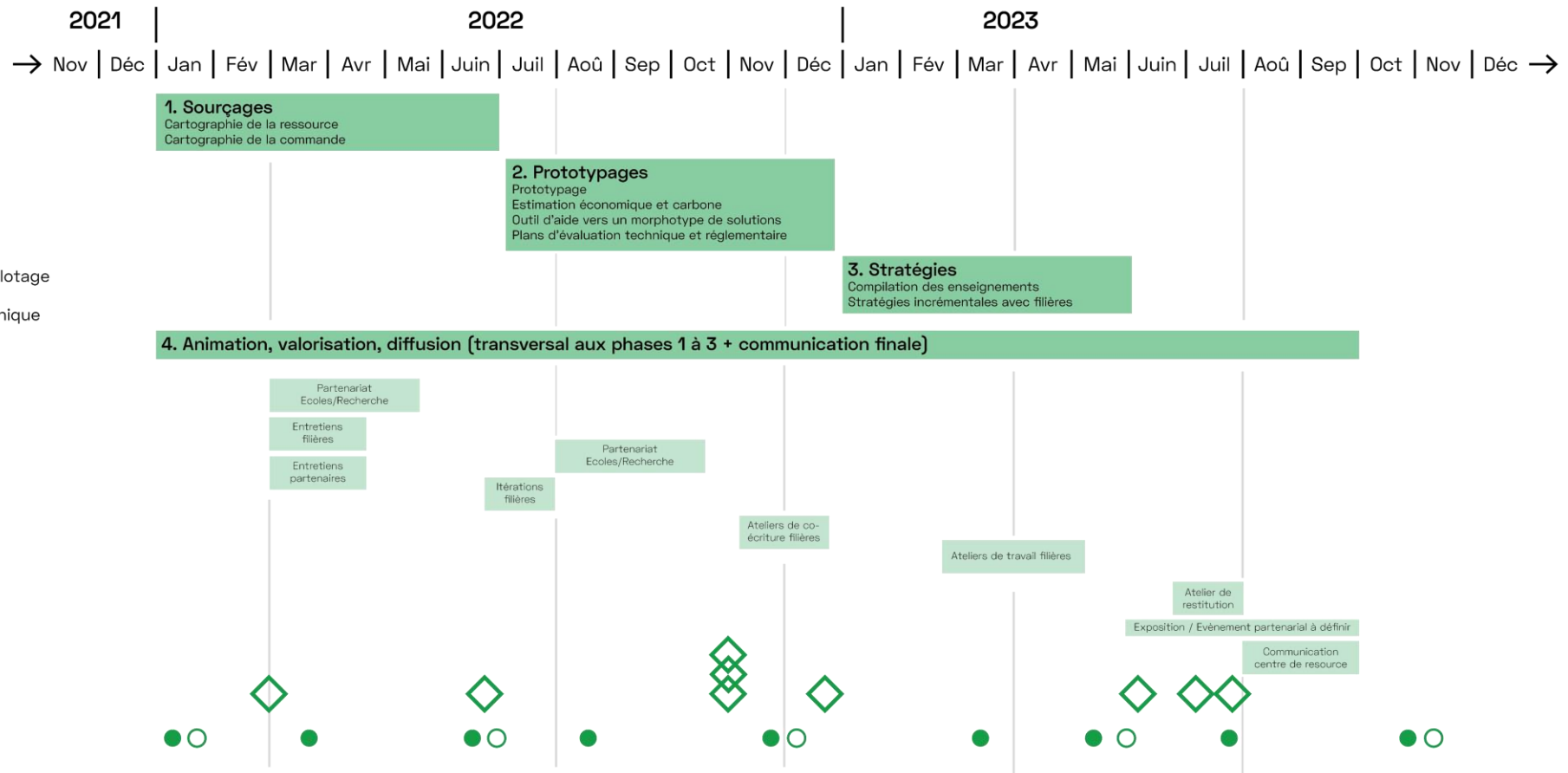


1. Sources
2. Prototypages
3. Stratégies

4. *Animation
diffusion*

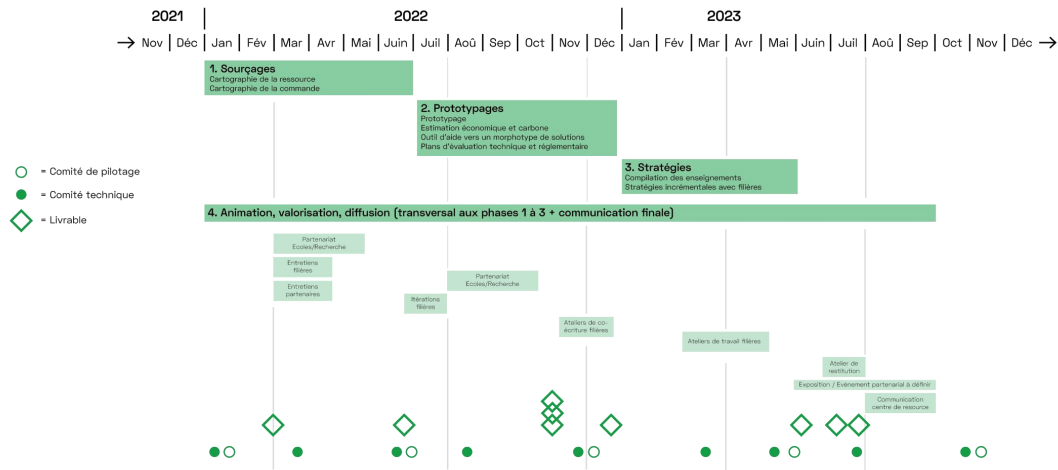
Le projet Maillons

Calendrier



Le projet Maillons

Gouvernance



Les comités techniques de phase 1

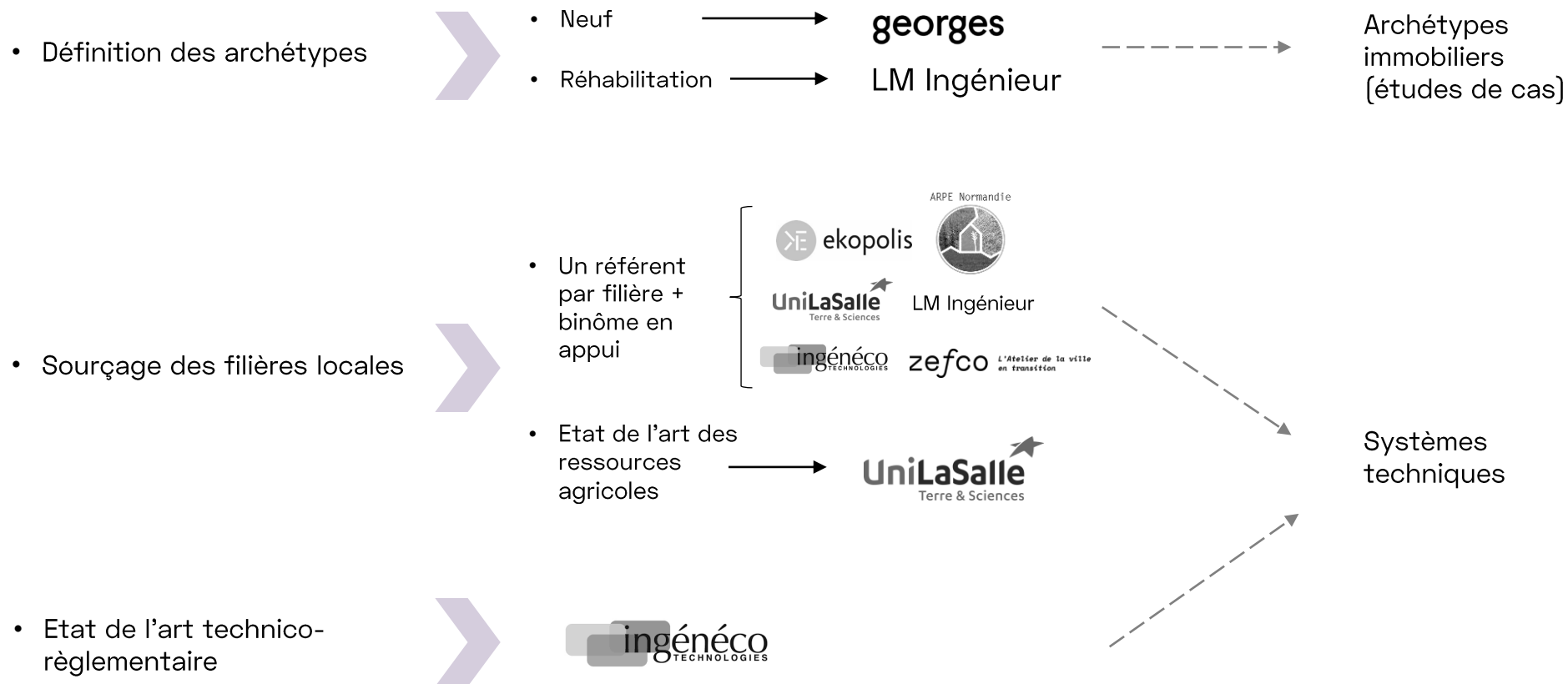
- CoTech n°1 le 09/12/2021
- CoTech n°2 le 16/02/2022
- CoTech n°3 le 30/03/2022

Les comités de pilotage de phase 1

- CoPil de lancement : le 14/01/2022
- CoPil fin de phase 1 : le 30/06/2022

Sourçage des ressources et de la commande

Vers un bouquet de techniques et d'archétypes immobiliers



2. Sourcing commande

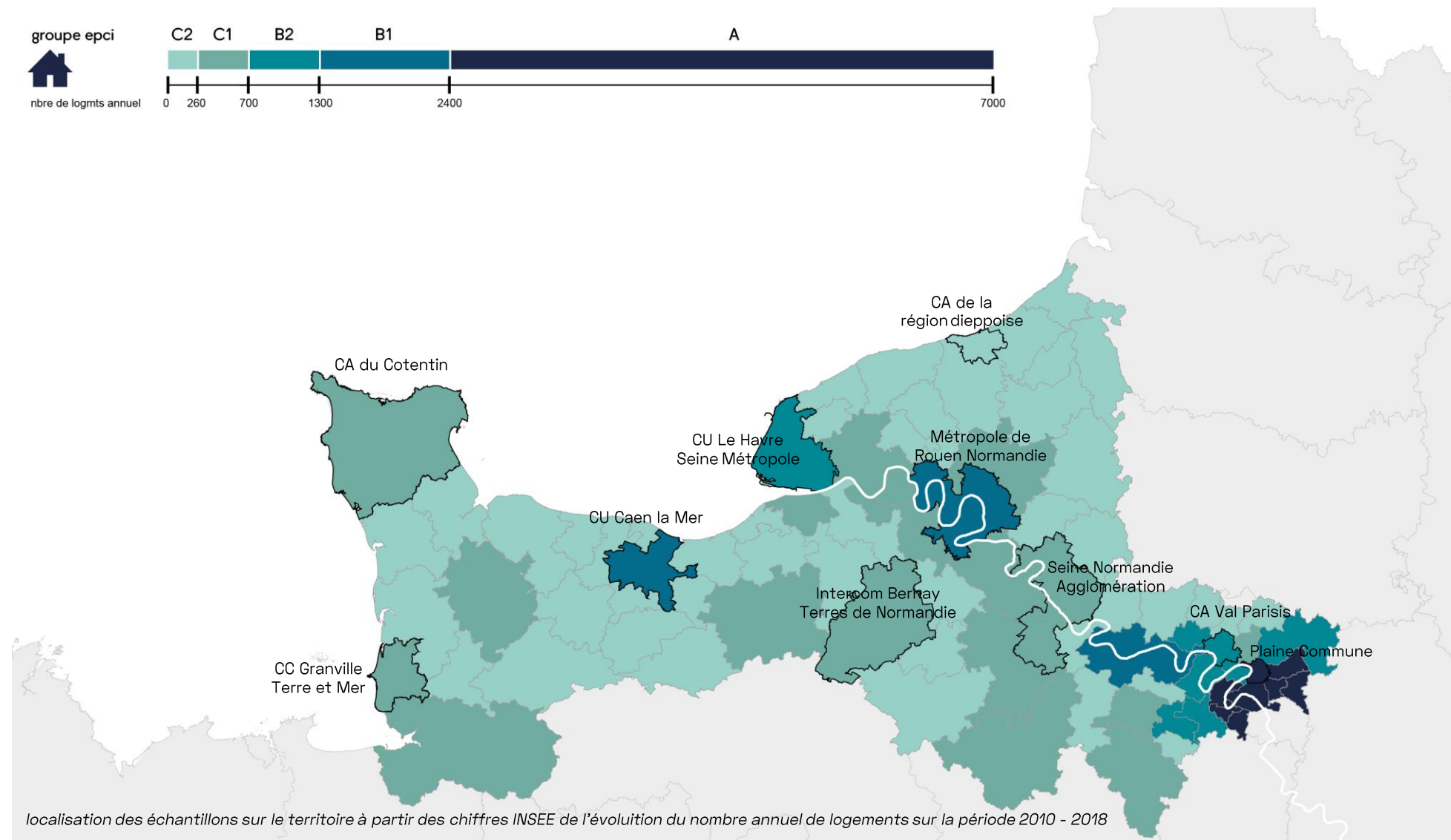
Définition des archétypes

Méthode

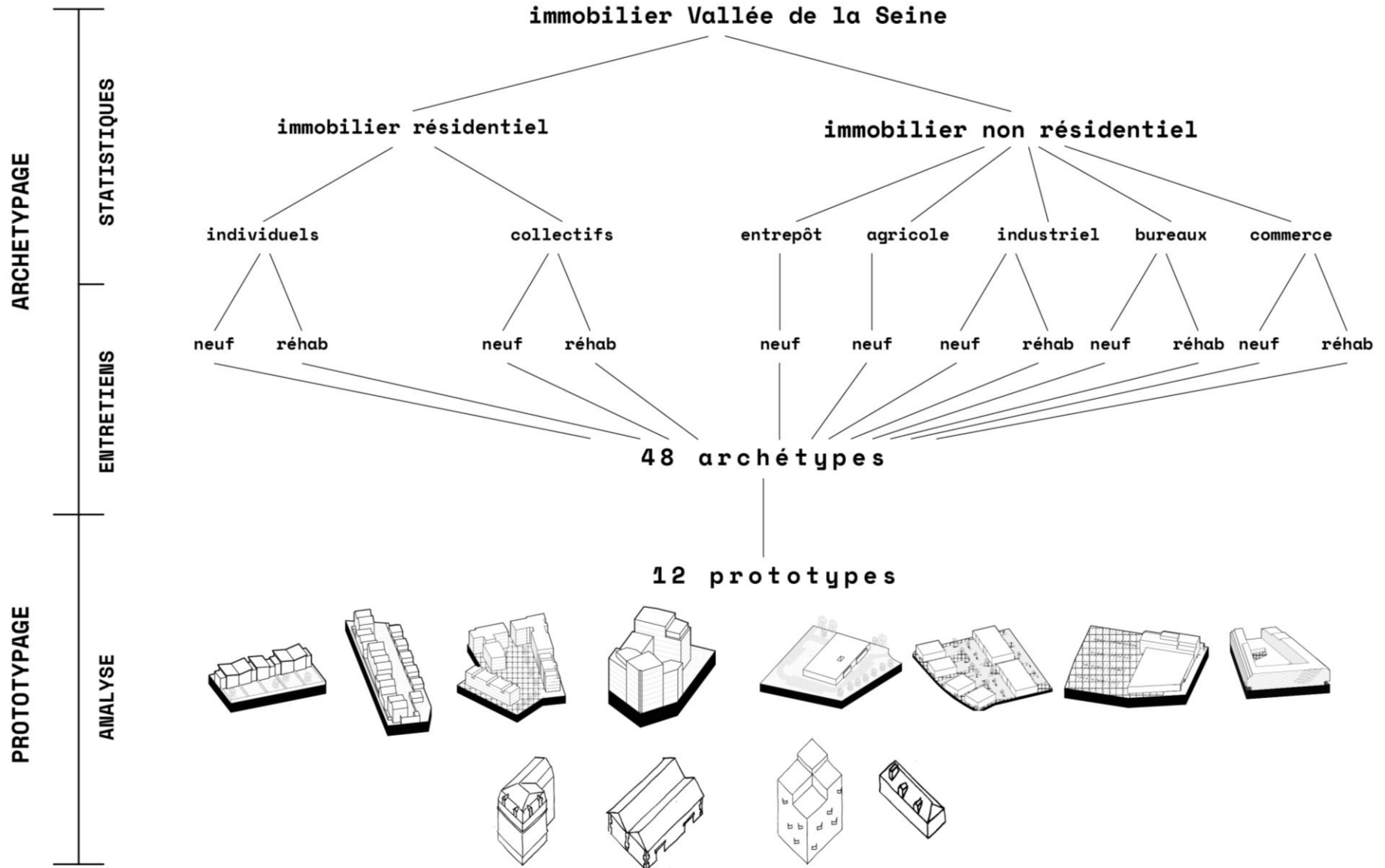
1. Echantillonnage territorial : approche statistique
2. Echantillonnage typologique : approche statistique
3. Mise en dialogue avec les professionnels de l'aménagement
4. Sélection des « best-seller »

Echantillonnage territorial de la commande

A partir des dynamiques de construction

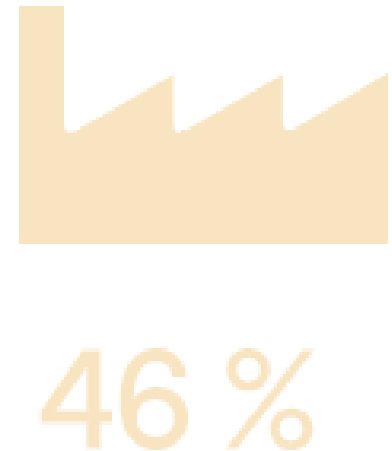


Echantillonnage typologique de la commande



Echantillonnage typologique de la commande

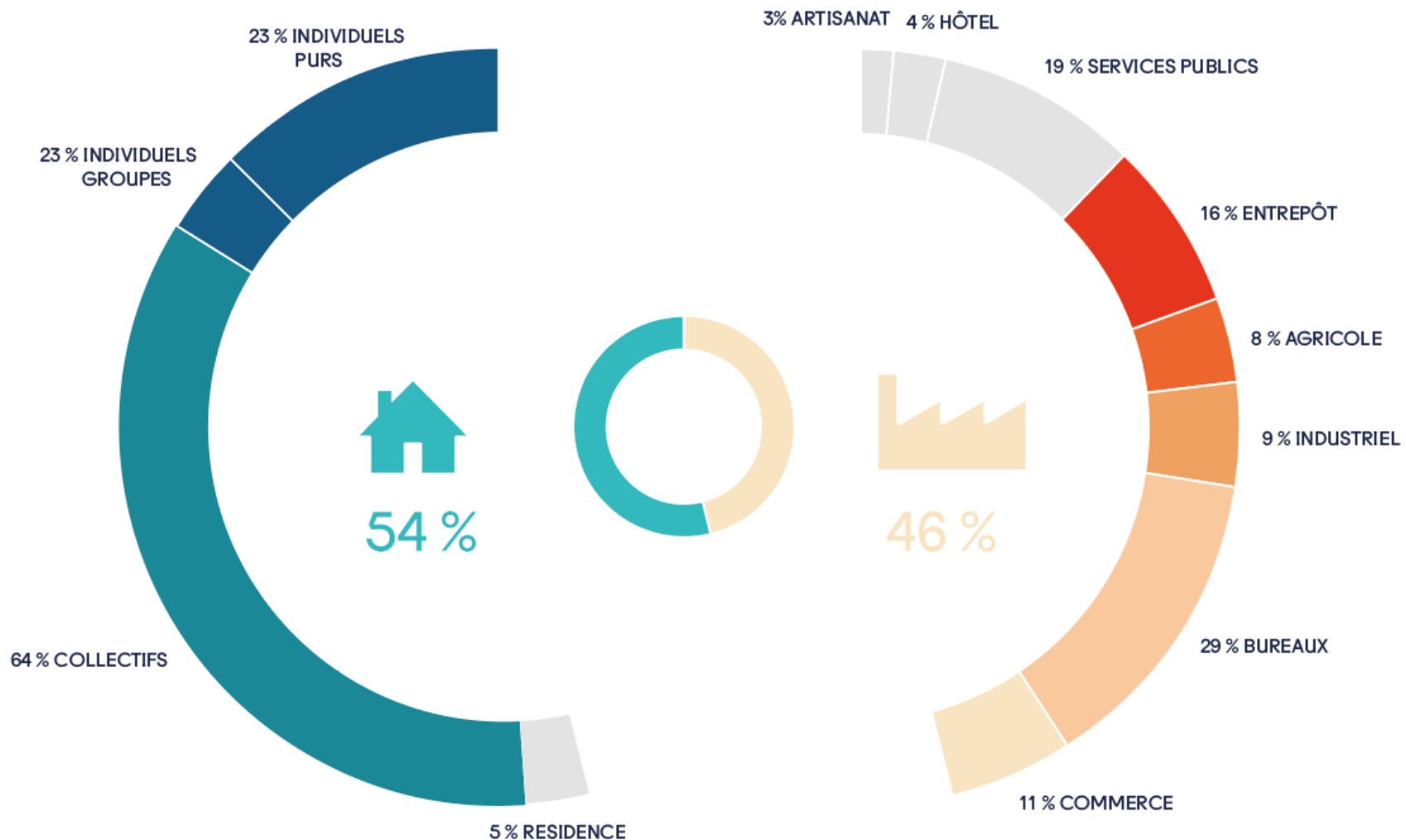
Distinction économique



Du volume de construction annuel en m² construits

Echantillonnage typologique de la commande

Distinction programmatique



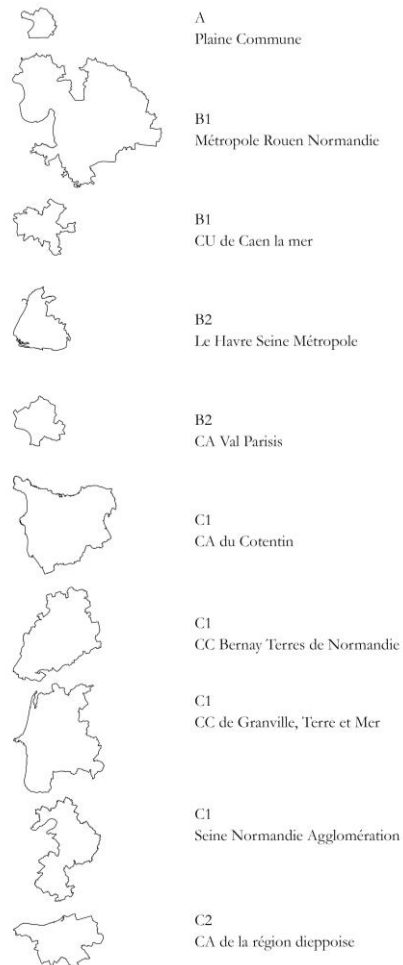
Echantillonnage typologique de la commande

Données d'entrée statistiques



Echantillonnage typologique de la commande

distinction neuf / réhabilitation



	Individuels	Collectifs	Résidence	Total logements
A Plaine Commune	55.4 %	17.2 %		15.5 %
B1 Métropole Rouen Normandie	15.6 %	9.3 %		12.7 %
B1 CU de Caen la mer	6.3 %	13.7 %		10.5 %
B2 Le Havre Seine Métropole	33.7 %	3.0 %		4.4 %
B2 CA Val Paris	39.1 %	29.2 %		22.7 %
C1 CA du Cotentin	84.5 %			10.3 %
C1 CC Bernay Terres de Normandie	39.9 %	50.0 %	100 %	42.2 %
C1 CC de Granville, Terre et Mer	4.6 %			3.7 %
C1 Seine Normandie Agglomération	22.9 %			6.0 %
C2 CA de la région dieppoise	66.7 %		81.0 %	22.8 %

> 1/3 des évolutions sur le bâti correspondent à de la réhabilitation

Exemple d'analyse d'échantillons neufs



50m

B1. entreprise. neuf. #13



entrepôt classe A

B1. entreprise. neuf. #14



entrepôt classe C

B1. résidentiel. neuf. #15



individuels en bande

B1. résidentiel. neuf. #16



îlot résidentiel ouvert

B1. résidentiel rehab. #17



typologie

projet	Lazzaro I et II	Lazzaro I et II	ZAC Jean Jaurès	ZAC Jean Jaurès
commune	Colombelles	Colombelles	Colombelles	Colombelles
aménageur / promoteur	Normandie Aménagement	Normandie Aménagement	Normandie Aménagement	Normandie Aménagement
programmation	Activité logistique	Activité logistique	Résidentiel individuel	Résidentiel collectif
livraison				
prix de foncier	40€/m²	40€/m²	250€/m²	250€/m²
prix de construction				
prix de sortie				
surface parcelle	3600 m²	576 m²	249 m²	9 970 m²
emprise au sol	1100 m²	246 m²	70 m²	4 900 m²
surface de plancher				
nombre d'étages				
hauteur totale	R+1	R+1	R+1	R+3
matériaux	9m	7m	6m	13m
morphologie urbaine				
CES / COS	0,31 / 0,23	0,43 / 0,64	0,28 / 0,42	0,5 / 0,24
morphologie paysagère				
Surface pleine terre m² / CBS	1750 / 0,49	47 / 0,08	124,7 / 0,50	578 / 0,24
morphologie «RE2020»				
coefficient de compacité	0,32	0,81	1,06	0,38

particularités

A

Rénovation énergétique de 42 pavillons de logement social, quartier de la guéinière

Caen

Caen la mer Habitat

/

résidentiel individuel groupé
1,76 M €

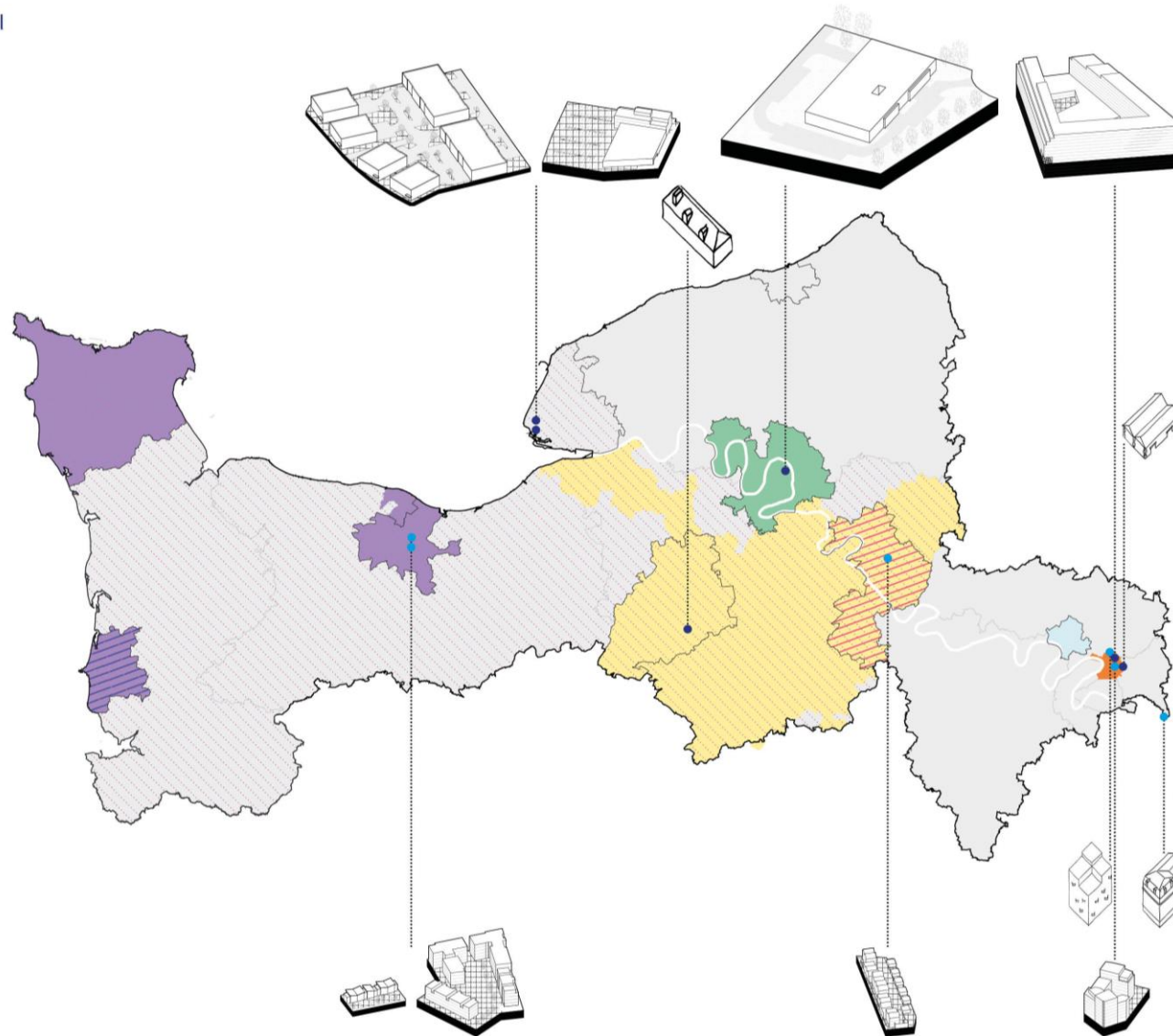
parcelle : 18 000 m2
RDC

post années 70
Réhabilitation : 2022

/

Répartition géographique des prototypes

non résidentiel



résidentiel

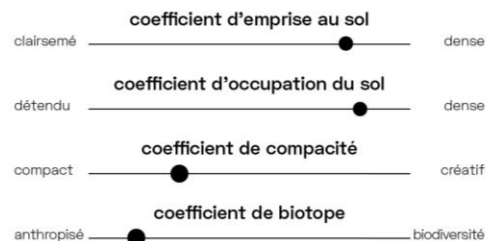
prototype #01

ilôt tertiaire en U



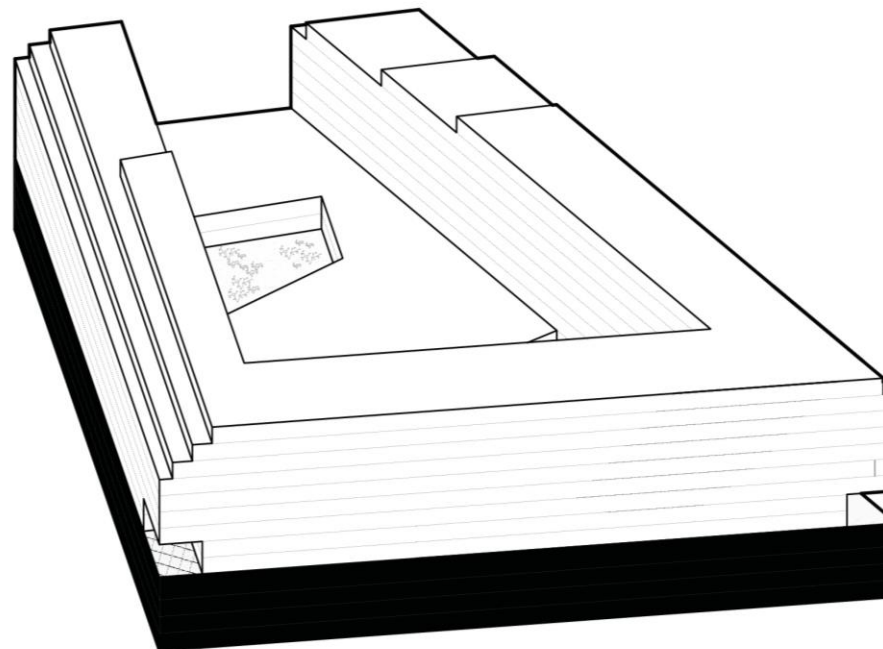
10m

Les immeubles de bureaux sont caractéristiques des situations urbaines denses. Sur la Vallée de la Seine c'est une typologie représentative des constructions des EPCI de groupe A et sur le reste du territoire dans les centres d'agglomérations. Placé en alignement des limites parcellaires, le bâtiment tire profit au maximum du volume constructible, tout en créant des découpages avec des terrasses en gradins favorisant les vues multiples. Les circulations verticales en façades associées à un système constructif poteaux-poutres permettent de libérer des plateaux libres de bureaux en open-space, enveloppés d'une façade très largement vitrée.



programme	tertiaire - plateaux de bureaux
classement incendie	ERT+ ERP 5e catégorie
surface parcelle	10 850 m²
emprise au sol	9 190 m²
surface de plancher	48 300 m²
nombre d'étages	R+7 + sous-sols
hauteur totale	29 m
profondeur bâti	18 m
structure	poteaux poutres béton
façade	men. bois, panneaux sandwich bois
toiture	technique et végétalisation extensive

vers le bas carbone	
leviers	attractivité permet d'imposer des préconisations environnementales
freins	des volumes bâtis complexes avec des façades très transparentes



prototype #02

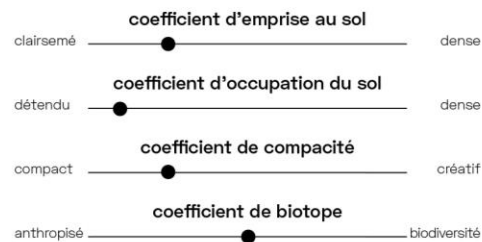
entrepôt classe A



10m

Cet entrepôt représente les constructions de zones monofonctionnelles organisée en autarcie avec un branchement sur un axe routier. Placées en périphérie de ville pour éviter les nuisances, ces zones d'activités économiques sont très consommatrices d'espaces pour les bâtiments et les voiries pour des déplacements uniquement routiers.

La forme bâtie est simple, compacte, fonctionnelle. La qualité architecturale passe bien après le critère de prix. Les activités de production ou de logistique sont toujours associées à une part de bureaux et des espaces pour l'accueil du public.



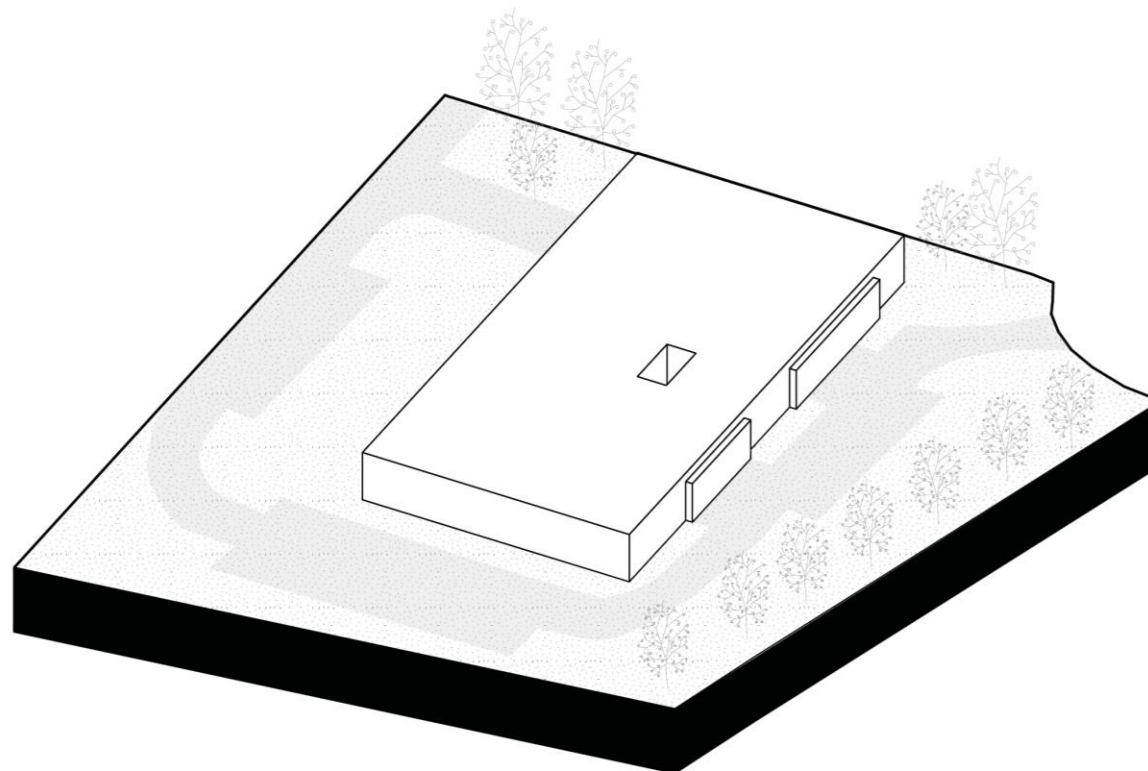
programme : activité industrielle
classement incendie : ERT + ERP 5e catégorie

surface parcelle : 27 090 m²
emprise au sol : 7 040 m²
surface de plancher : 5 635 m²
nombre d'étages : RDC à R+1
hauteur totale : 9 m
profondeur bâti : 80 m
structure : dalle béton, portiques métalliques
façade : men. PVC, panneaux composites
toiture : bac acier

vers le bas carbone

leviers : forme bâtie simple permettant de standardiser la construction

freins : très grande portée difficile en biosourcé



prototype #03

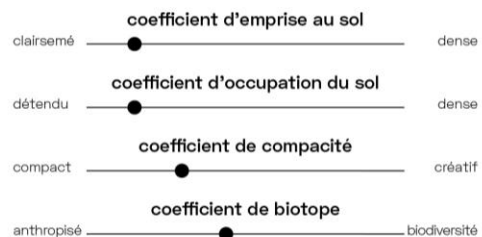
entrepôt classe C



10m

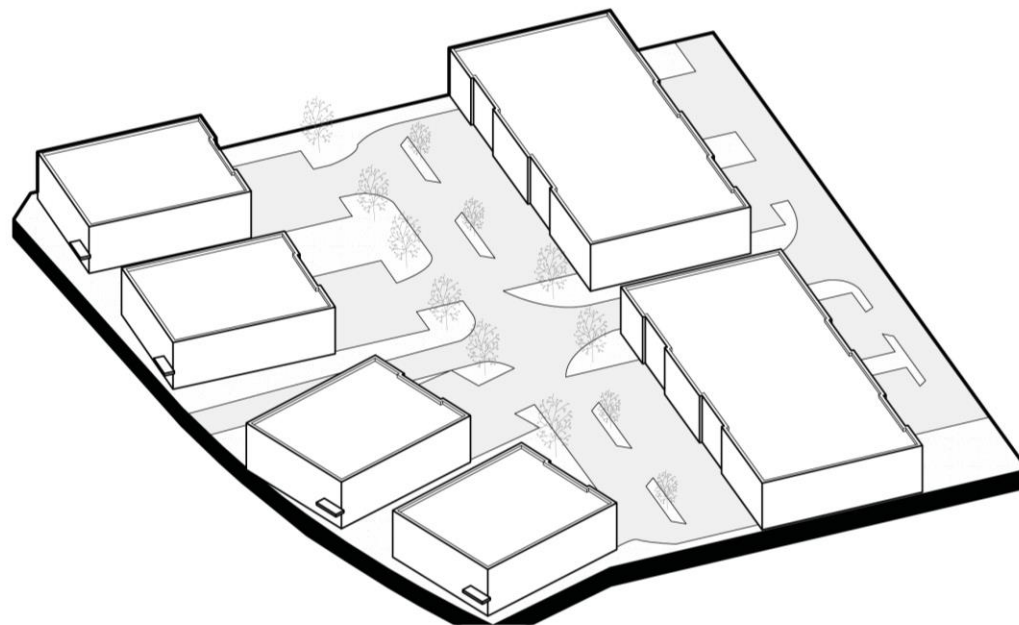
Ce bâtiment prend place dans un «village d'artisans» en entrée de ville. Il s'agit d'un ensemble de locaux d'artisanat associés à des bureaux, chacun ayant son stationnement en entrée de bâtiment. Les constructions s'organisent en grappes, l'ensemble se raccordant aux axes routiers. Si la programmation reste mono fonctionnelle, l'échelle des bâtiments se rapproche d'un quartier urbain.

Une attention est portée sur les enveloppes, travaillées pour éviter les parois opaques et monotones dans le paysage. Les espaces extérieurs sont paysagers participant à la qualité des espaces publics.



programme	activité artisanale
classement incendie	ERT
surface parcelle	11 930 m²
emprise au sol	7 040 m²
surface de plancher	3 655 m²
nombre d'étages	RDC à R+1
hauteur totale	7 m
profondeur bâti	18 m
structure	dalle béton, portiques bois
façade	polycarbonate, bardage métallique
toiture	bac acier

vers le bas carbone	
leviers	biosourcés attrait qualitatif et environnemental pour acquéreur
freins	difficulté de sortie au prix du marché consommation de terres agricoles



prototype #04

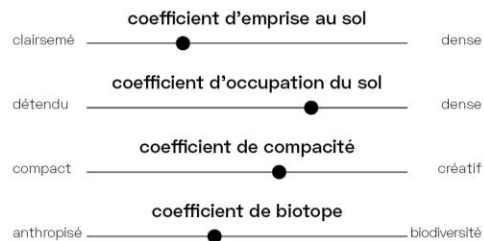
hybride d'activités



10m

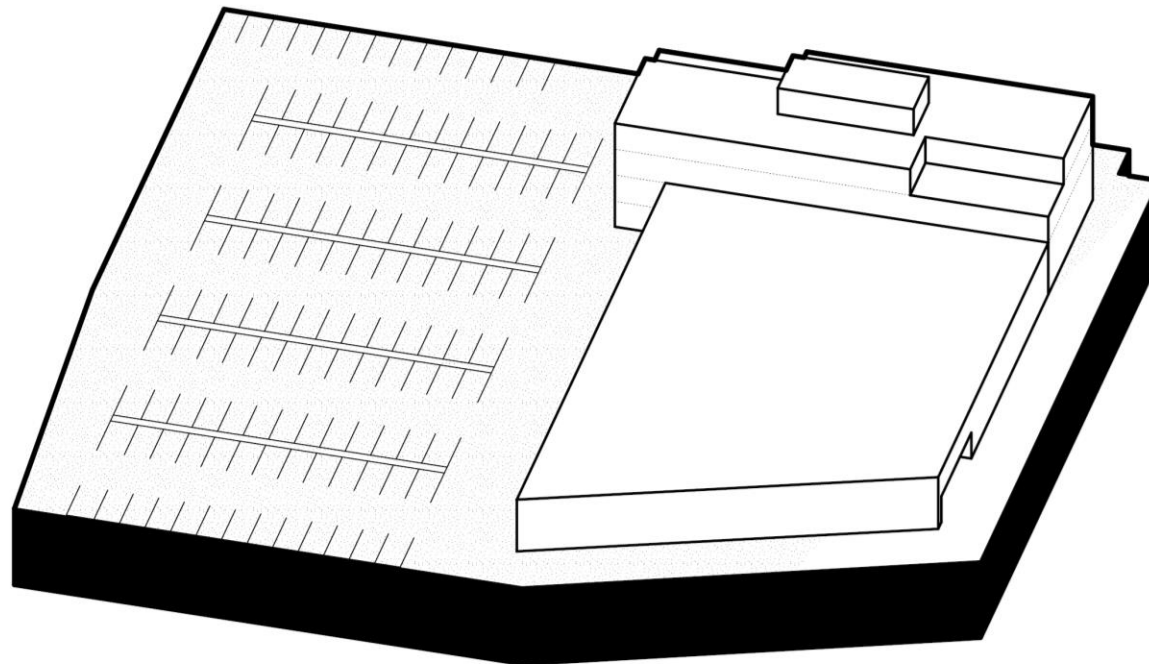
Ce bâtiment hybride regroupe deux typologies d'immobilier d'entreprise : un centre commercial de proximité (salles de sport, boulangerie, supermarché bio) associé à un bâtiment de bureaux dont le socle est occupé par un pôle de santé (crèche, pharmacie, cabinet d'ostéopathe).

Ce type de construction est représentatif des entrées de ville, s'implantant sur les derniers terrains non artificialisés. Facilement accessible par la proximité des nœuds routiers, proche des bassins de population, ces bâtiments présentent une densité modérée. La voiture reste très présente mais des ambitions environnementales sont également introduites, avec un soucis d'aménagement des espaces extérieurs paysagers et une recherche de qualité architecturales.



programme	commerces + tertiaire
classement incendie	ERT + ERP 5e catégorie
surface parcelle	27 090 m ²
emprise au sol	7 040 m ²
surface de plancher	2 300m ² commerces + 1 800m ² bureaux
nombre d'étages	RDC + R+3
hauteur totale	12 m
profondeur bâti	38 m + 18 m
structure	plancher collaborant, structure métal
façade	men. alu, bardage bois et métal
toiture	végétalisée extensive + accessible

vers le bas carbone	
leviers	mixité programmatique, investisseur occupant en recherche de qualité
freins	difficulté de sortie au prix du marché
	consommation de terres agricoles



prototype #05

ilôt ouvert



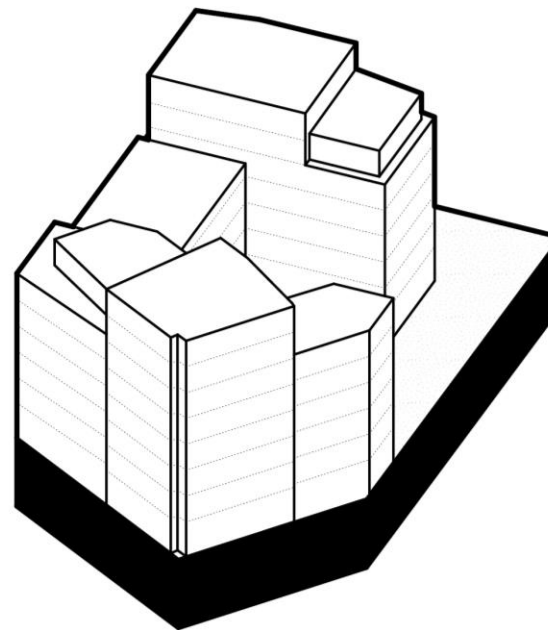
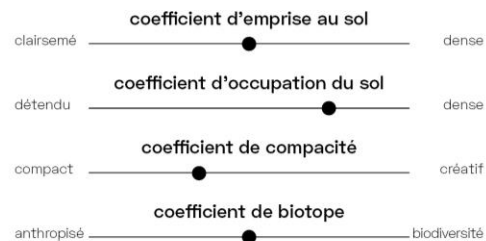
10m

Cet ensemble résidentiel est une portion d'un grand îlot ouvert avec trois orientations principales :

- le front de canal qui se retourne en proue à l'angle s'adresse au paysage et accompagne les cheminements piétons,
- les façades sur cœurs d'îlots protégeant un jardin intérieur dans une échelle plus domestique,

- les accroches fonctionnelles sur rue avec accès voitures et techniques.
La densité bâtie est compensée par une déconstruction des volumes et l'emploi de nombreux matériaux différents en façades.

Les logements sont distribués par des circulations intérieures avec un couloir central éclairé naturellement. Tous les logements ont un espace extérieur et la majorité bénéficient de plusieurs orientations : traversants ou en angle.



programme logements collectifs à accession privée
classement incendie 3e famille B

surface parcelle 2 180 m²
emprise au sol 1 080 m²
surface de plancher 6 000 m²
nombre d'étages R+7 + niveaux sous-sols
hauteur totale 22 m
profondeur bâti 13 m
structure dalle refends béton
façade men. bois alu, briquettes et enduit
toiture végétalisée extensive + accessible

vers le bas carbone

leviers ————— logements traversants, maîtrise des coûts de sortie par le prix du foncier
freins ————— hauteur et épaisseur du bâti, espaces extérieurs à étancher difficile sans béton

prototype #06

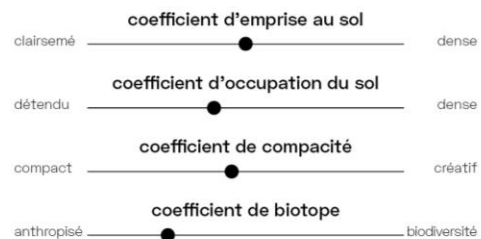
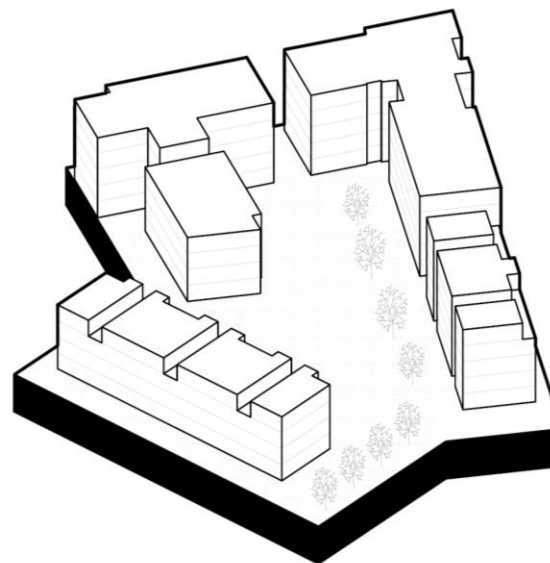
collectif discontinu



10m

Cet ensemble de logements collectifs rassemble plusieurs constructions autour d'un coeur d'îlot semi privé, traversé par des mobilités douces. L'îlot est décomposé en plusieurs bâtiments dont les volumes sont découpés, en hauteur et en profondeur, introduisant des espaces extérieurs. A cela s'ajoute une variation de matériaux enduit, bois et bardage métallique ainsi qu'un léger retrait végétalisé par rapport à l'espace public.

Les volumétries sont travaillées de manière à se rapprocher de d'une diversification d'habitats individuels tout en présentant une importante densité de logements.



programme	logements collectifs
classement incendie	2e famille + 3e famille A
surface parcelle	9 970 m ²
emprise au sol	4 900 m ²
surface de plancher	env. 15 000 m ²
nombre d'étages	R+3 à R+4
hauteur totale	13 m
profondeur bâti	15 m
structure	béton
façade	men. + volets roulants PVC, enduit, bois, métal
toiture	étanché + panneaux photovoltaïques

vers le bas carbone

leviers ——— production locale d'énergie,
constructions compactes

freins ———

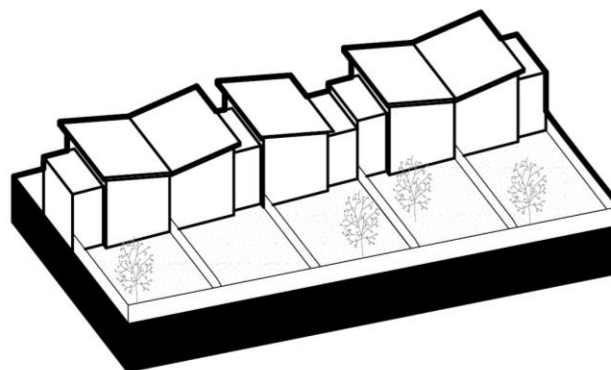
prototype #07

individuels en bande



10m

Ces logements individuels sont implantés en juxtaposition, sous formes de bandes parallèles, l'ensemble constituant un îlot autonome. La desserte se fait par une voie partagée sans trottoir favorisant les mobilités douces, en boucle pour se brancher à la voie principale. Les constructions sont en retrait de l'espace public, sans clôture, avec un carré de verdure et un accès à un stationnement individuel intégré à la construction ou avec un simple auvent. Les maisons toutes identiques présentent des variations sur les couleurs de l'enduit et des portes. A l'arrière, le jardin est le lieu d'expression des extensions habitantes : auvents, vérandas, abris de jardins et clôtures diverses. Le regroupement des maisons favorise l'échelle domestique mais laisse de côté la prise en compte de l'orientation solaire.



coefficient d'emprise au sol

clairsemé —●— dense

coefficient d'occupation du sol

détendu —●— dense

coefficient de compacité

compact —●— créatif

coefficient de biotope

anthropisé —●— biodiversité

programme	logements individuels en bande
classement incendie	1ère famille
surface parcelle	250 m²
emprise au sol	70 m²
surface de plancher	120 m²
nombre d'étages	R+1
hauteur totale	6 m
profondeur bâti	8,5 m
structure	parpaings
façade	men. et volets roulants PVC, enduit et bois
toiture	bac acier + étanché

vers le bas carbone

leviers — stationnements intégrés, recherche de qualité dans les volumes

freins — pollution sols entraîne surcoût de base maison catalogue, CMIstes non formés

prototype #08

intermédiaire



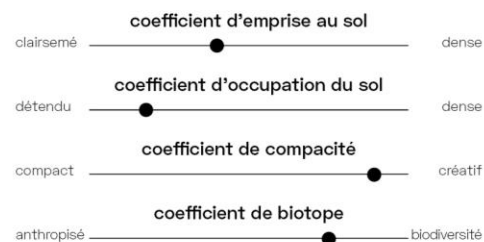
10m

Cette opération regroupe des habitats individuels superposés et juxtaposés. L'image de la maison est représentée avec un traitement des toitures en double pans et les volumes sont divisés de manière à reprendre le gabarit d'une maison. Cet effet est accentué par une palette de matériaux composant des variations.

Les logements sont desservis par des circulations extérieures se prolongeant en terrasses privatives.

Les retraits sur espace public sont séparés par des clôtures et des boxes de stationnements individualisés.

L'échelle des constructions permet de densifier un habitat individuel très gourmand en superficie mais les faibles surfaces de jardins engendrent une difficile appropriation.

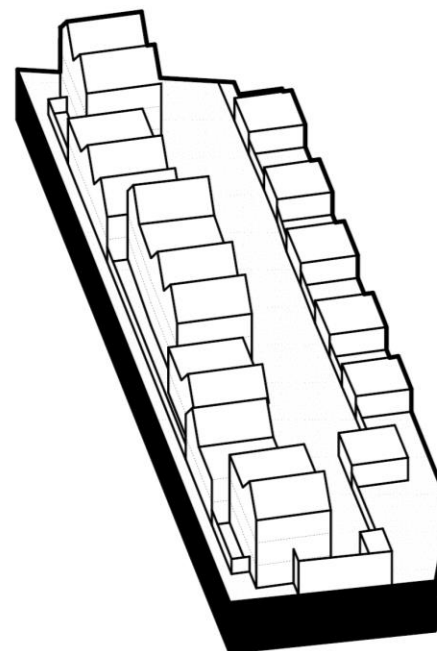


programme	logements intermédiaires en bande
classement incendie	2e famille
surface parcelle	4590 m²
emprise au sol	2000 m²
surface de plancher	env. 3 500 m²
nombre d'étages	R+1 à R+2 +combles
hauteur totale	10 m
profondeur bâti	9 m
structure	briques et structure métallique rapportée
façade	men. PVC, enduit, briquettes, bac acier
toiture	bac acier + étanché

vers le bas carbone

leviers — densification d'habitats individuels,
bâtis qui se prête au bio-géosourcé

freins —



prototype #09

bâtiment de logement en béton (post années 70)

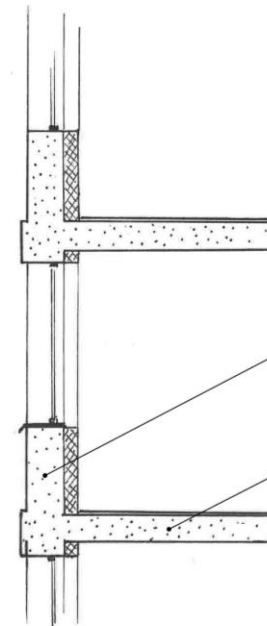
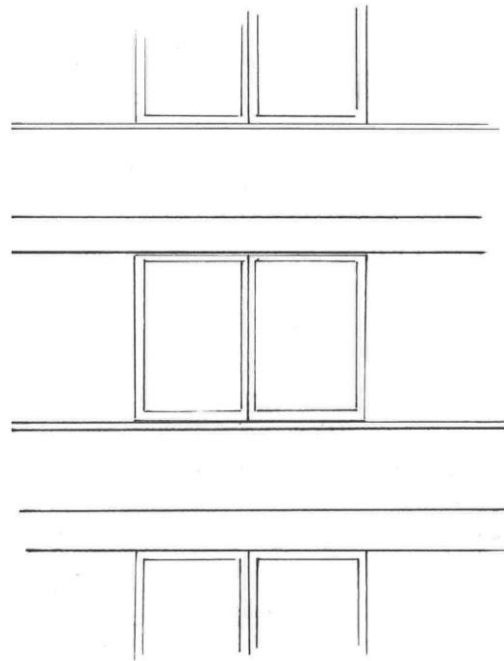
Les bâtiments résidentiels en béton datent généralement de l'après seconde guerre mondiale, issus de la reconstruction ou de construction plus tardive, ces bâtiments reposent sur des éléments standardisés et des mises en œuvres industrielles.

Les logements collectifs sont le plus souvent construits selon une trame régulière de voiles porteurs en béton armé isolés par l'intérieur.

Les planchers sont quant à eux en béton armé ou constitués de poutrelles béton et hourdis de terre cuite ou béton surmonté d'une chape de béton.

Les maisons individuelles, souvent de type «pavillonnaire» sont plutôt en maçonnerie de bloc creux en terre cuite ou béton avec des planchers en béton ou poutrelles/hourdis.

Avec les années et le manque d'entretien régulier, les bâtiments ont souvent été fragilisés et dévalorisés. Il semble donc nécessaire de porter un autre regard sur ce patrimoine.



COUVERTURE

- dalle béton armé (toiture plate) (logement collectif LC)
- charpente bois (maison individuelle MI)

MUR

- béton armé (LC)
- bloc béton ou brique creuse (MI)
- isolation intérieure

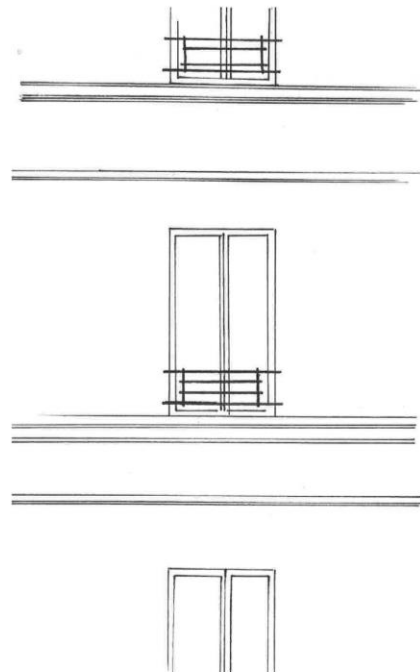
PLANCHER

- béton armé (LC et MI)
- poutrelles hourdis (LC et MI)

prototype #10

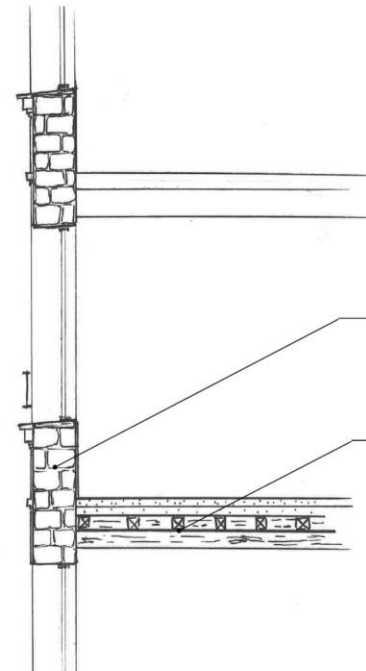
immeuble de rapport ou bâtiment patrimonial «commun» (avant-guerre pré années 30)

Les bâtiments de ce type peuvent être divers : immeuble de logement en centre ville, bâtiment patrimonial plus important (cf cloître rue des Gobelins réhabilité au Havre), grande bâtisse en zone rurale. Ce sont des bâtiments généralement construits avant les années 30.



COUVERTURE

- charpente bois



MUR

- brique
- colombages
- moellons
- pierre massive

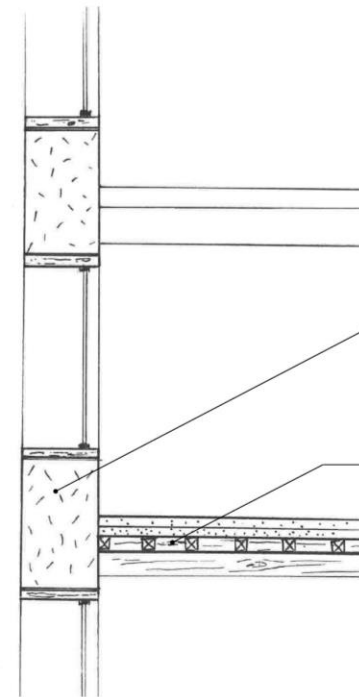
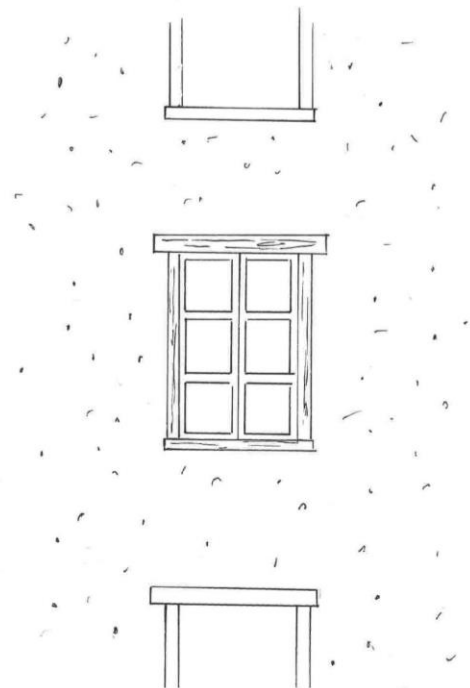
PLANCHER

- poutraison et solivage : bois et/ou métal
- chape et finitions:
 - terre cuite sur aire de chaux et plâtre
 - parquet et plancher à auget de plâtre

prototype #11

construction traditionnelle

Ces bâtiments sont très courant dans toute la France , depuis le 16ème siècle et jusqu'à l'entre deux guerre, notamment en zone peu dense. Les matériaux de constructions sont souvent issus de sites proches et en harmonie de couleur avec la terre environnante. Pour limiter l'érosion de la terre (vent dominant à l'ouest) et bénéficier du meilleur ensoleillement l'implantation se fait généralement de façon à orienter la façade principale du logis au Sud, Sud-est. Les bâtiments, jointifs ou non, s'organisent traditionnellement selon cinq types d'implantation : en alignement, en parallèle, en L, en U ou autour d'une cour.



COUVERTURE
- charpente bois

MUR
- bauge
- torchis
- pisé

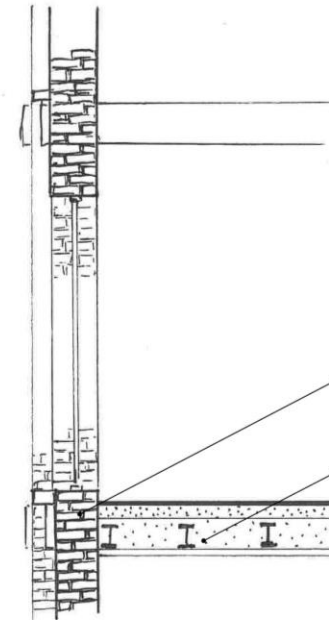
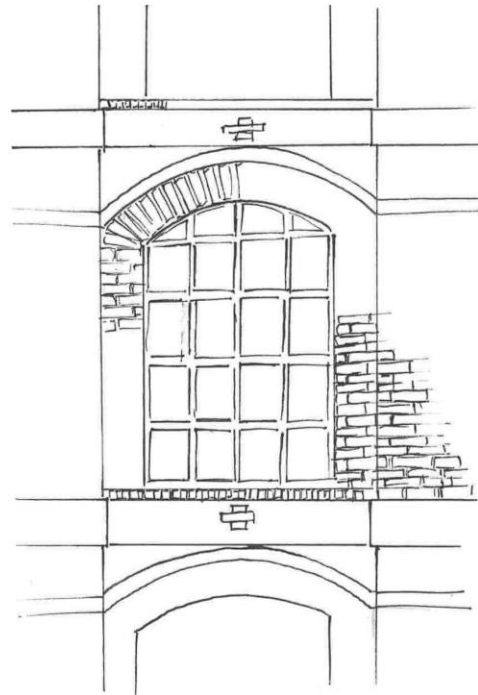
PLANCHER
- poutrais et solivage : bois
- chape et finitions :
terre cuite sur aire de
chaux et plâtre ou sur
quenouilles

prototype #12

bâtiment industriel

(mi-XIX^{ème})

Cette architecture naît à la fin du XIX^{ème} siècle. Elle s'empare d'un matériaux solide, bon marché et décoratif : la brique de terre cuite. Le métal fait aussi son apparition et sert dans les planchers et charpentes. Dans l'est parisien et en normandie, ces bâtiments industriels, laissés sur le territoire des friches, qu'il est parfois possible de réhabiliter et transformer pour conserver ce patrimoine.



COUVERTURE

- fermes métalliques

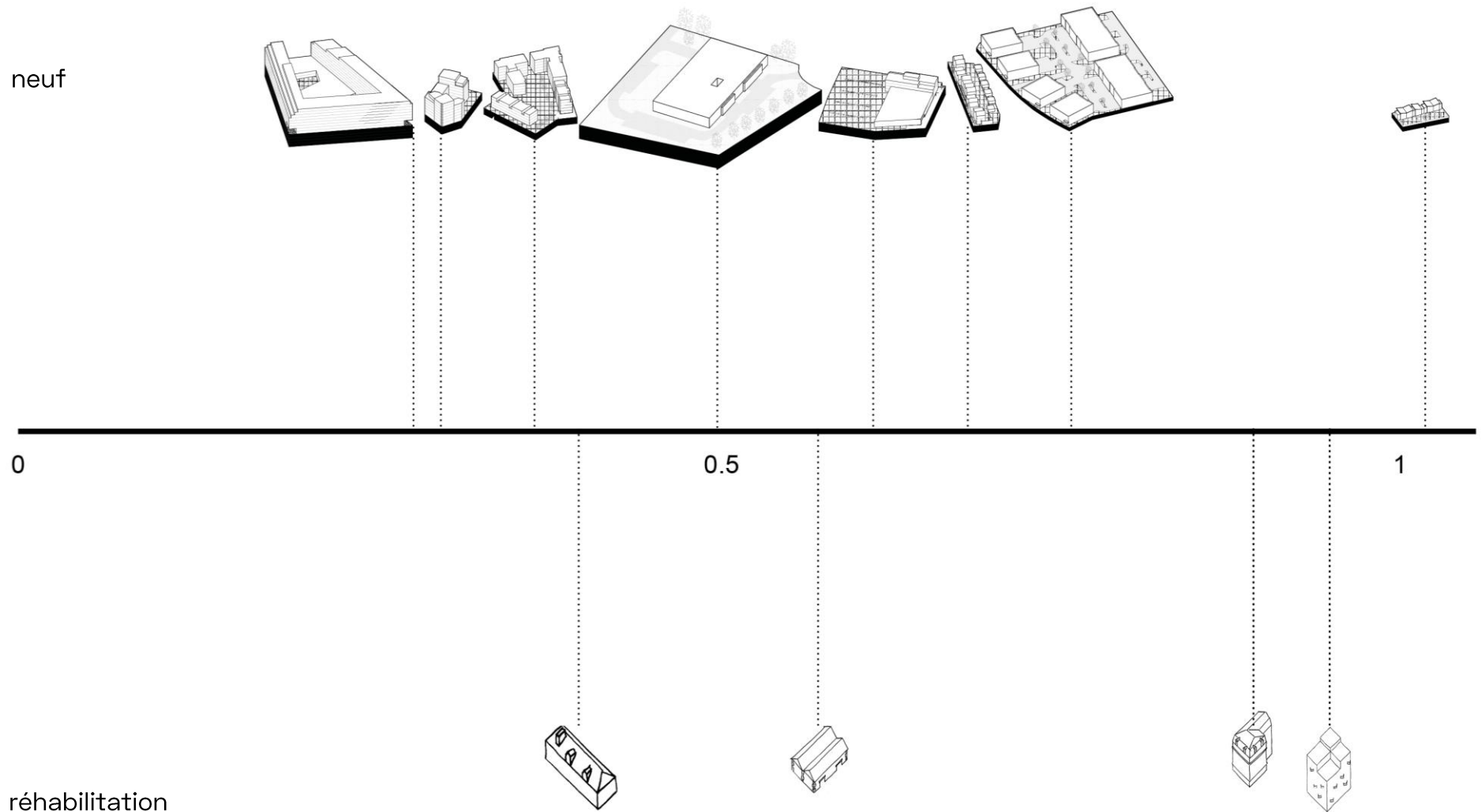
MUR

- brique

PLANCHER

- poutraison métallique
- remplissage :
 - armatures
 - voutains en brique de terre cuite
 - hourdis
- chape et finitions:
 - terre cuite sur aire de chaux et plâtre
 - parquet et plancher à auget de plâtre

Synthèse morphologique des prototypes



3. **Sourçage filière**

Sourçage des filières territoriales

Méthode

1. Définition d'un cadre d'analyse des Maillons
2. Etat de l'art bibliographique
3. Entretiens avec les filières régionales et partenaires experts
4. Analyse, production des cartographies des acteurs et de la ressource
5. Webinaires pour confronter des points clés avec les acteurs des filières
6. Premières réflexions sur la **sélection** des systèmes techniques

Les filières considérées



Paille, sous forme de bottes assemblées sur chantier, de murs préfabriqués ou de paille hachée



Bois, essentiellement pour une utilisation structurelle, d'ossature, de parement extérieur ou de platelage bois



Chanvre, en isolation (paille, panneaux préfabriqués...) et béton de chanvre



Lin, en isolation (paille, panneaux préfabriqués...) et béton d'anas de lin, pare-vapeur



Miscanthus, en isolation (en vrac) et béton projeté



Filières en développement, (colza, maïs, tournesol...)



Ouate de cellulose, en isolation (vrac soufflé ou insufflé, panneaux préfabriqués...)



Terre crue, sous toutes ses formes (porteuse, en remplissage d'ossature, en béton fibré, en enduits...)



Pierre, en maçonnerie pour des murs porteurs, en revêtement et parement



Plâtre

Le cadre d'analyse

Les étapes de progression



CONCEPT

Expérimenter un matériau, tester ses propriétés

- Principes de base observés ou décrits
- Concept technologique et/ou applications formulées



PROTOTYPE

Donner la preuve que ça marche à l'échelle 1

- Preuve analytique ou expérimentale des principales fonctions et/ou caractéristiques du concept
- Validation de composants et/ou des maquettes en laboratoire
- Validation de composants et/ou des maquettes en environnement représentatif



DEMONSTRATEUR

Bénéficier de premiers retours d'expérience

- Démonstration d'un prototype ou modèle de système/sous-système dans un environnement représentatif
- Démonstration d'un prototype du système dans un environnement opérationnel
- Système réel achevé et qualifié par des tests et des démonstrations



SOLUTION

Cadre normatif et structuration de la filière

- Système réel achevé et qualifié par des missions opérationnelles réussies



MASSIFICATION

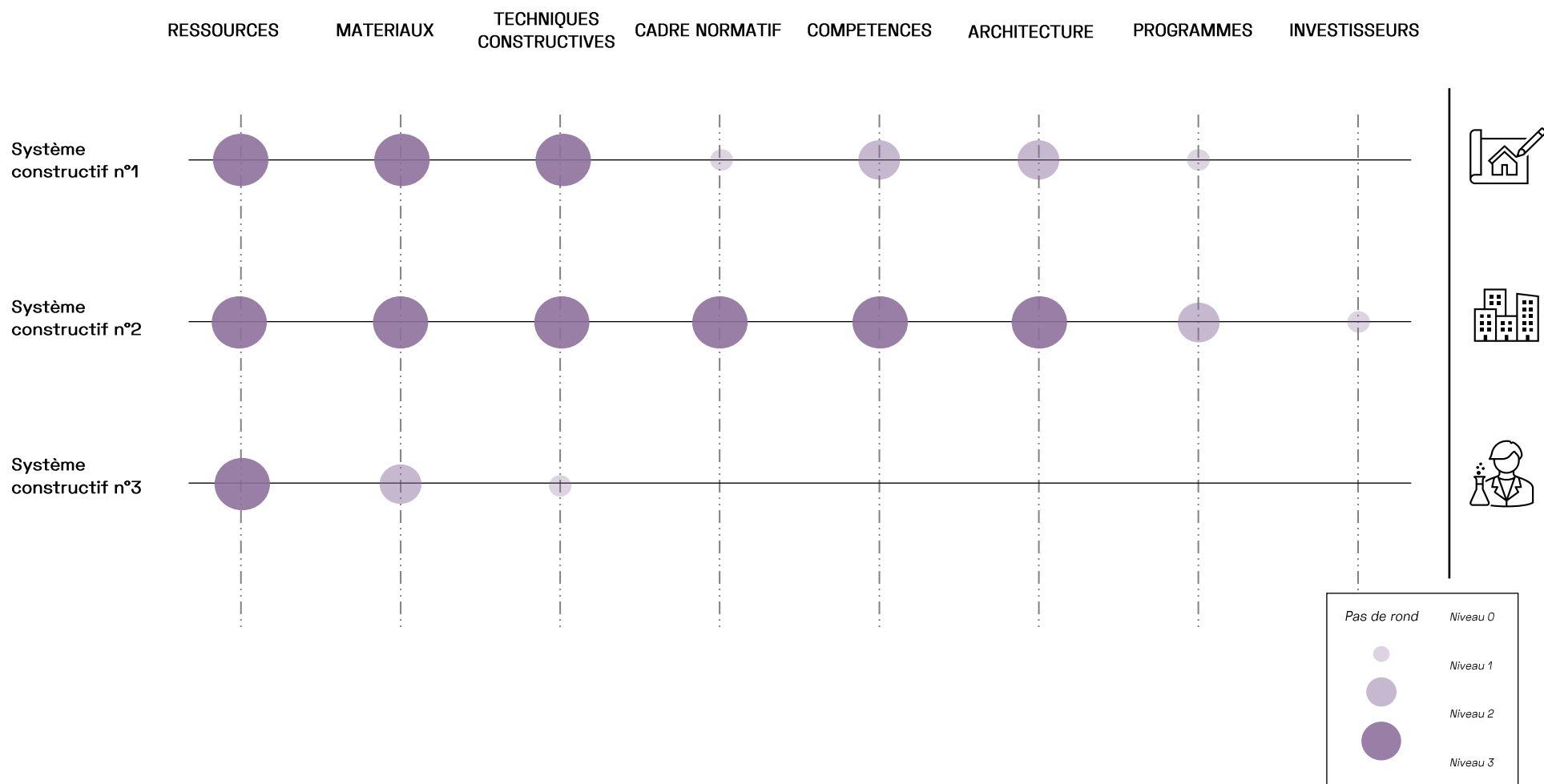
Géographique, typologique, diversité et taille de projets



La massification n'est pas intégrée dans l'échelle TRL → le projet Maillons va plus loin dans l'étude du développement des solutions biosourcées dans la construction

Le cadre d'analyse

Matrice de synthèse pour la vision sur la filière



Le cadre d'analyse

Des indicateurs de maturité

	à l'échelle des deux régions		à l'échelle nationale		à l'échelle des deux régions		à l'échelle nationale		
	RESSOURCE (échelle locale)	MATÉRIAUX (échelle locale)	TECHNIQUES CONSTRUCTIVES (échelle nationale)	CADRE NORMATIF (échelle nationale)	COMPETENCES (échelle locale)	ARCHITECTURE (échelle nationale)	PROGRAMME (échelle nationale)	INVESTISSEURS (échelle nationale)	
Niveau 0	Pas de ressource disponible sur aucune des 2 régions	Performances non caractérisées	Pas de prototype (ni échelle 1:1 ni procédé constructif)	Pas de cadre normatif existant	Pas d'entreprise qualifiée sur le territoire	Pas de bâtiment qui fasse référence *	Uniquement des bâtiments démonstrateurs	Pas d'investisseur intéressé hors expérimentation	Pas de rond
Niveau 1	Ressource disponible ET Application identifiée ou pressentie	Performances caractérisées (thermique, acoustique, environnement : idéalement FDES) ET < 2 entreprises de fabrication	Au moins 1 prototype (échelle 1:1 du procédé constructif) déjà réalisé dans un cadre expérimental (à l'échelle nationale)	Référentiel classé en technique non courantes et non traditionnelles	1 entreprise qualifiée	1 référence * architecturale significative	Application du système technique sur une seule typologie de programmes (usages : bureaux, logements individuels, collectifs, équipements ..., nbr de niveaux, etc.)	Uniquement des MOA directes (investisseurs utilisateurs en propre, hors bailleur social)	●
Niveau 2	A minima une exploitation agricole ET Application identifiée	Performances caractérisées (thermique, acoustique, environnement : idéalement FDES) ET Entre 2 et 4 entreprises de fabrication	Entre 1 et 10 bâtiments livrés, considérés comme des « expériences réussies et reconnues » (à l'échelle nationale)	Au moins un référentiel classé en technique courantes mais non traditionnelles (ATEX, ATEc, ...)	Plusieurs entreprises qualifiées ET Quelques MOE formées	Plusieurs références * architecturales significatives	Application du système technique sur plusieurs typologies de programmes (usages : bureaux, logements individuels, collectifs, équipements ..., nbr de niveaux, etc.)	Une diversité de MOA intéressée : directe et indirecte, bailleur social, ...	●
Niveau 3	Niveau 2 + Ressource abondante	Performances caractérisées (thermique, acoustique, environnement : idéalement FDES) ET Au moins 5 entreprises de fabrication	Plus de 10 bâtiments livrés considérés comme des « expériences réussies et reconnues » (à l'échelle nationale)	Référentiel classé en techniques courantes et traditionnelles (Règles Pro, DTU, ...)	Plusieurs entreprises qualifiées ET Nbreuses MOE formées	Nombreuses références* architecturales significatives	Tout programme, toute hauteur	Tous les types d'investisseurs sont intéressés	●

* La notion de « référence » architecturale assume ici une dimension qualitative : appréciation de la reconnaissance d'un projet par les acteurs de la construction

Aperçu du rendu & méthode

L'exemple de la filière paille

2. *Filière Paille*



@ C. Desmichelle



@ Up Straw

1.1 Filière paille

Synthèse filière Une ressource disponible pour des débouchés ciblés



Etat de la filière

Une ressource disponible mais des progrès à réaliser dans l'accès au matériau

La botte de paille utilisée dans la construction est à ce jour quasiment exclusivement dite "paysanne", c'est à dire pressée sur champs au moment de la récolte. Son format est fixe dans 2 des 3 dimensions et impose aux constructeurs de caler leurs pratiques (approvisionnement, conception des ossatures) sur les pratiques agricoles.

Les agriculteurs sont capables, en quantité et en qualité, de fournir les bottes de paille nécessaires à une utilisation massive. Cependant, pour une optimisation de la fabrication, et une meilleure appropriation du matériau paille par les professionnels du bâtiment, le développement de nouveaux produits en Normandie, en complément de la botte paysanne, doit être recherché : botte de paille de dimensions adaptées au DTU 31.2, dite "à façon", paille hachée pour insufflation... Ces produits permettraient en outre d'élargir les applications possibles et de limiter la consommation en bois d'œuvre. Le maillon "fabricant de bottes de paille pour la construction" est donc à diversifier.

Des acteurs nombreux et formés, à tous les maillons de la filière

L'ARPE Normandie a repéré 95 acteurs professionnels de la filière paille en Normandie, comprenant maîtrise d'œuvre et entreprises. Ils attestent d'un tissu relativement dense de professionnels à même de construire en paille, sur tous les maillons de la filière.

La formation Pro-Paille est une formation professionnelle multi-acteurs qui connaît un succès grandissant dans les 2 régions. Les formations réalisées en Normandie (2 par an, 30 participants) accueillent un public diversifié de professionnels (charpentiers, architectes, bureau d'études, économistes...) tandis que les formations franciliennes reçoivent quasiment exclusivement des

acteurs de la maîtrise d'œuvre (35 à 40 participants par an). Les liens entre professionnels normands et franciliens sont à renforcer, dans un esprit de complémentarité des compétences.

Une formation "agripaille" est également disponible en Normandie, à destination des agriculteurs.

D'une manière générale, la formation professionnelle doit être largement diversifiée au-delà des formations Pro-Paille : formations intra-entreprises, formations spécialisées (AMO...), ainsi que les partenariats, à établir avec les formations initiales.

2 maillons de la filière apparaissent plus faibles :

l'approvisionnement en bottes de paille et l'assistance à maîtrise d'ouvrage spécialisée en construction paille. En effet, plusieurs maîtrises d'ouvrages professionnelles ont manifesté le besoin d'être accompagnées pour leur premier projet isolé en bottes de paille.

Perspectives de développement

Une demande qui augmente et se diversifie, des références toujours plus nombreuses

Face aux enjeux environnementaux, la construction paille s'est développée de manière exponentielle ces 15 dernières années. Le RFCP estime à plus de 10 000 le nombre de bâtiments isolés en paille en France, avec environ 500 nouveaux bâtiments construits chaque année.

Les enjeux pour la massification :

- sécuriser l'approvisionnement en bottes paysannes et diversifier l'offre produits
- intensifier et diversifier l'offre de formation pour sécuriser la mise en œuvre
- soutenir le développement de produits ou de techniques innovantes en proposant des cadres propices à l'expérimentation
- rendre visible la filière et ses réalisations en soutenant l'animation

1.1 Filière paille

Synthèse filière

Des projets existants et un fort potentiel d'innovation



Les systèmes constructifs

Des techniques qui ont fait leur preuve, un fort potentiel d'innovation

Depuis les premières constructions en bottes de paille structurales de la fin du XIXème siècle jusqu'aux constructions récentes, la paille comme matériau de construction offre une diversité de techniques constructives pour un large panel de typologies de programmes. Les acteurs ont su l'adapter, afin de continuer de bénéficier de ses qualités intrinsèques. Tandis que certaines techniques sont maintenant normées, recherches et expérimentations sont en cours pour étendre son usage à des projets plus ambitieux.

Un corpus normatif lacunaire, mais suffisant pour un grand nombre de projets

La botte de paille bénéficie de Règles Professionnelles pour une utilisation en tant qu'isolant en remplissage d'une ossature bois. La filière nationale a également produit de nombreuses données techniques normées pour répondre aux besoins des concepteurs. Des FDES existent. Ce contexte rend l'utilisation de la botte de paille possible dans les programmes les plus courants. Cependant, il est insuffisant pour envisager une utilisation massive de la botte de paille dans certains programmes (ITE, constructions supérieures à R+2...)

Systèmes constructifs analysés

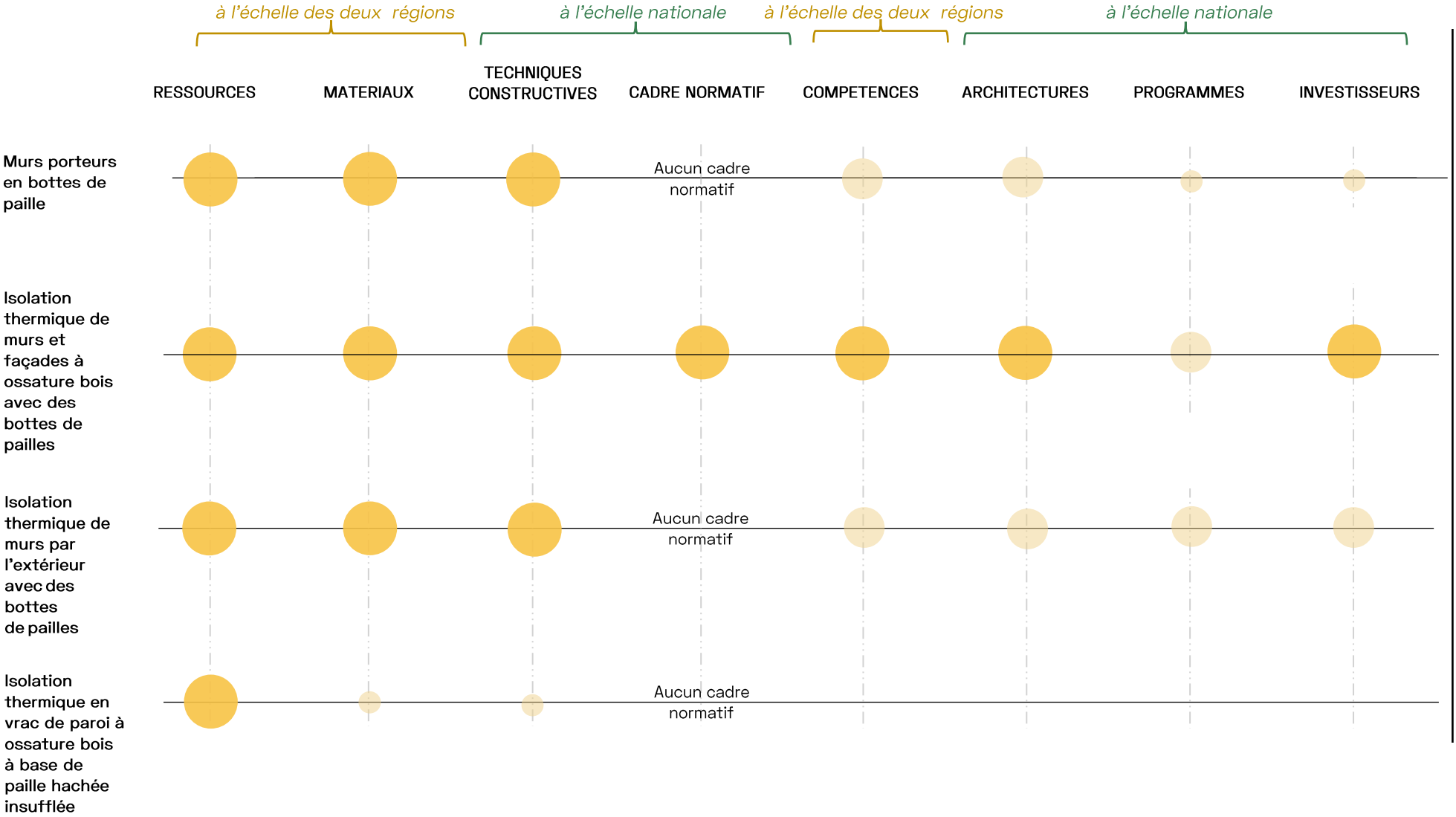
- ✓ Murs porteurs en bottes de paille
- ✓ Isolation thermique de murs et façades à ossature bois avec des bottes de pailles
- ✓ Isolation thermique de murs par l'extérieur avec des bottes de pailles
- ✓ Isolation thermique en vrac de paroi à ossature bois à base de paille hachée insufflée

Les procédés ci-dessous emploient également de la paille mais à des quantités plus marginales (se référer à la filière terre crue pour plus de précisions) :

- ✓ Murs porteurs en terre crue avec des fibres de paille (Bauge) ; remplace Bauge
- ✓ Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de paille (Torchis, Terre allégée) ; remplace Terre allégée et Torchis
- ✓ Enduit mural int/ext de terre crue ou de chaux, fibré avec de la paille Support : Bottes de pailles ; remplace Enduits
- ✓ Enduit mural int/ext à la chaux, fibré avec de la paille Support : Terre crue ; remplace Enduits

1.1 Filière paille

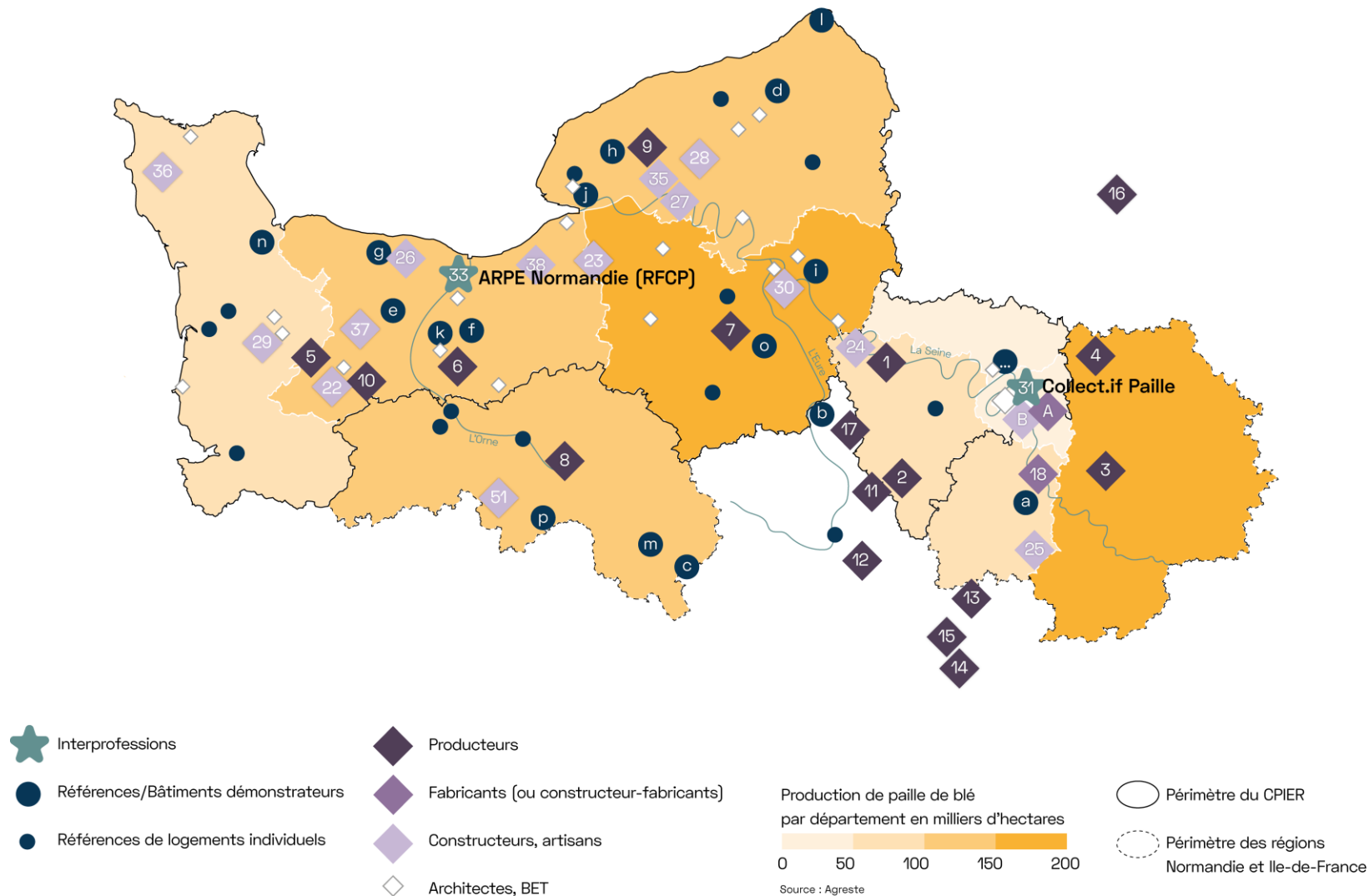
Matrice de synthèse



1.1 Filière paille

Aperçu de l'écosystème

Une filière ancrée dans le territoire



1.1 Filière paille

Aperçu de l'écosystème

31	Collect.if Paille	Paris	www.iledefrance.constructionpaille.fr/	18	Bati Sens	Corbeil-Essonnes	
33	ARPE Normandie (RFCP)	Caen	https://arpenormandie.org/	22	CHANU HD	Vire	
1	La Villeneuve	Mezieres sur seine		23	Poulingue	Beuzeville	
2	Foin.net	Sonchamp	www.foin.net/	24	Rubner Construction Bois - Vaninetti	Rosny sur Seine	www.rubner.com/fr/gruppe/
3	Paille service	Champeaux	www.paille-service.fr/	25	Weisrock Construction bois	Milly la forêt	www.weisrockconstructionbois.fr/
4	Ferme du Gué au Prieur	Claye-souilly	www.ferme-de-claye-souilly.com/bottes-de-fourrages	26	CPL Bois	Bayeux	
5	EIRL Broussin Vianney	La Feuillie		27	Bomatec	Rives en Seine	
6	BERNAY	Donnay		28	SARL Duchesne	Autretot	
7	La Céréalière	Graveron-Semerville		29	Amand SARL	Moyon Villages	
8	EARL de la Planche	Mortrée		30	Le Bois à l'œuvre	Léry	
9	GAEC du Mesnil au Coffre	Trouville		35	Atelier 1702	St Gilles de Crétot	
10	SARL Trans Poret	Viessoix		36	La maison terre/paille	Benoîtville	
11	Dugravot	Droue-sur-drouette (hors périmètre)		37	ROBLIN Jean-Baptiste	Le Tourneur	
12	Breton Mickaël	Beauvilliers		38	Henoia	Cartigny-l'Épinay	
13	Europaille	Guigneville	https://www.europaille-foin-compost.fr	B	Pool de constructeurs en Ile-de-France (se référer au site d'Ekopolis)		
14	Cédric Benoist	Jouy-en-Pithiverais			Architectes et BET		
15	Oliver Delorme	Allainville-en-Beauce					
16	Clos de Belival	Remy					
17	Frère Joyeux	Boutigny Prouais					
	Alter Bâtir	Paris					
	APIJ Bat Construire solidaire	Saint denis	www.apijbat.com/				
	UTB Les charpentes du Gâtinais	Romainville	www.utb.fr/				
A	MAÎTRE CUBE	Paris	www.maitrecube.fr/				
	DEPUIS 1920	Aubervilliers	www.depuis1920.fr/				
	RIALLAND CHARPENTE EN BOIS	Montmagny	www.rialland.fr/				
	CBS-CBT	Choisy-le-roi	www.cbs-cbt.com/fr/				

Autres acteurs ressource (hors carte)

Ielo	Bonneuil-Matours	www.ielo.coop/
ISOL'enPaille	Lys haut layon	www.isolenpaille.com/
Profibres	Apremont, Challans	www.profibres.fr/
Réseau Français de la Construction en Paille	Montargis	www.constructionpaille.fr/
Le Centre National de la Construction Paille (CNCP-Feuillette)	Montargis	www.cncp-feuillette.fr/

Cette liste n'a pas vocation à être exhaustive. Pour plus de précisions sur les acteurs cités ou compléments, voir les sites de [l'ARPE Normandie](#), [Ekopolis](#) et du [RFCP](#).

1.1 Filière paille

Aperçu de l'écosystème territorial Projets démonstrateurs

a	Ateliers municipaux	Chevannes	Ecole maternelle Vincent Auriol	Paris
b	Paille'House	Abondant	La petite fabrique d'Ivry-Levassor	Paris
c	13 logements bois paille	Nogent le Rotrou	145 Chambres étudiantes en bois et paille	Paris
d	Bureaux	Muchedent	Immeuble de logement de 7 étages	Paris
e	Prévo'Cap : pépinière d'entreprises écologiques	Villers-Bocage	La ferme du Rail	Paris
f	Bureaux bioclimatiques	Saint-Aignan-de-Crasmesnil	Bureaux transformés en logements étudiants BBC	Paris
g	Bâtiment agricole	Saint-Vigor-Le-Grand	...	
h	La crèche «La Chaumière»	Bréauté	Groupe Scolaire Stéphane-Hessel/Les Zéfirottes	Montreuil
i	La cité scolaire de Tourny	Tourny	Maternelle de la Mare Huguet Boutours	Rosny-sous-Bois
j	Un équipement socioculturel en paille	Gonfreville l'Orche	École des Boutours	Rosny-sous-Bois
k	Les Z'écobatisseurs	Louvigny	Centre de loisirs Félix Eboué	Rosny-sous-Bois
l	Logements sociaux	Flocques	L'école maternelle des Boutours	Rosny-sous-Bois
m	Une maison réhabilitée en matériaux locaux	Nocé	Groupe scolaire Louise-Michel	Issy-les-Moulineaux
n	Maison du parc naturel marais du Cotentin & Bessin	Carentan-Les-Marais	Ecole maternelle	Epinay-sur-Seine
o	Groupe scolaire Netreville	Evreux		
p	Centre de Gestion	Valframbert		

Cette liste n'est pas exhaustive. Pour plus de précisions sur les acteurs cités ou compléments, voir les sites de [l'ARPE Normandie](#), [Ekopolis](#) et du [RECP](#).

1.1 Filière paille

Ressource Une agro-ressource abondante et dynamique dans l'industrialisation

Données clés

Disponibilité

2 à 3,5 millions de tonnes/an de pailles de blé récoltables en Vallée de la Seine

Quantités produites / transformées

380 000 à 945 000 tonnes/an de pailles de blé pour la construction en Vallée de la Seine

Capacité annuelle de stockage

80-100 % de la production selon cultures

Concurrences d'usage

Paillage / Alimentation animale / Energie

Adaptabilité au changement climatique

Faible

Fournisseurs de matière première

(liste non exhaustive)

- Broussin (Normandie)
- Foin.net (Ile de France)
- La Céréalière (Normandie)
- Paille Service (Ile de France)
- SAS Delaplace (Normandie)
- La Villeneuve (Ile de France)
- Ferme du Gué au Prieur (Ile de France)
- Frères Joyeux (Ile de France)
- Dugravot (Ile de France)

Une agro-ressource abondante

La France est le 1^{er} pays producteur de céréales de l'Union Européenne avec 57,5 Mt en 2020 (source : Intercéréales, 2021). Elles sont récoltées en été, de mi-juillet à mi-août. Différentes céréales sont présentes le long de la Vallée de la Seine : le blé, l'orge, le maïs. L'Ile-de-France est la 1^{ère} région meunière de France (source : ViaVoice-Passion Céréales, 2020).

Des céréales... aux pailles

Les pailles sont des coproduits de l'industrie alimentaire : un hectare de culture céréalière produit environ 3 tonnes de paille.

Il s'agit donc d'une ressource très abondante (1,94 millions tonnes/an en Normandie et 86 410 tonnes/an en Ile-de-France en 2020). Essentiellement valorisée en paillage et en fourrage dans l'alimentation animale, son usage dans la construction et l'énergie se développe cependant de plus en plus.

En France en général, et en Île-de-France en particulier, la paille dans la construction renvoie essentiellement à la paille de blé, car c'est la culture pour laquelle les règles professionnelles de la construction paille sont établies et la plus cultivée pour les besoins métropolitains et pour l'exportation.

La concurrence d'usage est aujourd'hui limitée : 10% de la paille de blé produite annuellement suffirait pour isoler l'ensemble des constructions neuves.

Le stockage, un coût important mais un enjeu majeur

Les pailles récoltées sont très volumineuses et nécessitent d'être stockées dans des bâtiments fermés, en limitant les remontées d'humidité (chape bétonnée), bien aérés et dératés, ce qui augmente les coûts.

Ce poste est particulièrement coûteux en Île-de-France en raison du prix élevé du foncier. La Région prévoit un accompagnement pour les agriculteurs autour de ces enjeux : aires supplémentaires de stockage, aides AML et appels à projet 2022-2024 (source : Collectif Paille).

Des pailles de plus en plus courtes

Les changements climatiques impactent la ressource, les pailles étant très sensibles aux conditions pédoclimatiques et en particulier aux précipitations.

Pour répondre aux différents besoins, améliorer les rendements et éviter que les cultures ne se couchent, les agriculteurs utilisent de nombreux intrants et parfois des OGM, ce qui a tendance à s'accompagner d'une diminution de la longueur des pailles. Ce phénomène pourrait représenter un enjeu pour le secteur de la construction, qui a aujourd'hui besoin de pailles longues (22 cm). De plus, le recours plus important aux intrants pourrait augmenter les prix des bottes en proportion.

Une autre problématique liée à la récolte est le fait que les machines agricoles (batteuse à percussion, batteuse à rotor), qui séparent les grains et les pailles, écrasent les tiges et les rendent difficilement utilisables pour la construction.

Exploiter les pailles biologiques ?

Certaines maîtrises d'ouvrage acceptent uniquement de la paille issue de l'agriculture biologique sur leurs projets. C'est le cas de références à Rosny-sous-Bois (qui a également sélectionné des pailles produites en agroforesterie pour le centre de loisirs Jacques Chirac). Néanmoins, d'autres retours d'entretiens ont mis en évidence le caractère tendu du marché des pailles biologiques, priorisées pour l'alimentation et le paillage d'animaux.

Le développement d'une filière paille

Si les tensions sont aujourd'hui faibles, le développement de la filière paille de construction est à considérer en lien avec les autres débouchés, en particulier celui de l'énergie qui est en forte progression.

1.1 Filière paille

Matériaux (1^{ère} transformation) Le retour d'un matériau durable, performant et adaptable

Données clés

Sites de transformation : Vallée de la Seine

Fabricant industriel : 2

Fabricant semi-industriel (charpentier) :
>20

Producteur (agriculteur) : >20

Volume de production global
380 000 à 945 000 tonnes/an de pailles de
blé possibles pour la construction en Vallée
de la Seine

Fabricants de matériaux

Voir cartographie.

La botte de paille, un matériau isolant brut et prêt à l'emploi

La botte de paille est un produit agricole non transformé et de ce fait soumis à la TVA agricole 5,5%. L'agriculteur produit des bottes en conformité avec le cahier des charges réalisé par le RFCP. La responsabilité décennale est assumée par l'artisan qui prend possession du lot, vérifie sa conformité et réalise la mise en œuvre des bottes dans l'ossature.

- **La botte dite "paysanne"** / 6 à 10 €/m² (hors mise en œuvre)
Ses dimensions sont contraintes par les botteleuses agricoles. Le format le plus courant est 37x47x80/100 cm. Son stockage est géré par le producteur.
- **La botte à façon ou l'adaptabilité** / 20 €/m² (hors mise en œuvre)

Elle est refaçonée en atelier à partir de ballots de paille. Ses dimensions découlent des contraintes architecturales et des règles de construction. La botte de 22cm est la plus courante et permet d'économiser le bois employé en réduisant l'épaisseur du mur. Le fabricant atteste de sa qualité et offre une logistique adaptée au chantier (mise en palette, manipulation et stockage standardisés).

La paille hachée

Aujourd'hui, la filière de paille hachée se développe autour de la paille de blé. Toutefois, elle pourrait à terme intégrer la paille d'orge ou d'autres céréales. La première usine de fabrication française d'isolation en paille hachée devrait être opérationnelle courant 2022. Le développement de cette filière est porté par la SCIC ielo implantée en Nouvelle-Aquitaine, qui souhaite mettre en lien les producteurs de paille et les professionnels du bâtiment. L'objectif est *in fine* d'équiper les coopératives agricoles du matériel nécessaire au hachage et au conditionnement de la paille en vue de son utilisation pour la construction.

Un matériau local et durable

La paille est un matériau de proximité dont l'approvisionnement se fait à moins de 50 km du site de fabrication (atelier ou chantier de construction). La durabilité de ce mode constructif est prouvée : la plus ancienne maison en paille de France, la maison Feuillette à Montargis, a été construite en 1920.

Performances énergétiques

Les performances d'isolation de la botte de paille répondent aux exigences des constructions passives et à énergie positive (bepos). Une botte de paille dont la masse volumique est comprise entre 80 et 120 kg / m³ à les caractéristiques suivantes :

- Conductivité thermique : $\lambda_D = 0,048 \text{ W/(m.K)}$ - Norme EN 12-667
- résistance thermique : $R > 7,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (ép. 30cm)
- Coeff. De transmission thermique : $U = 0,12 \text{ W/(m}^2.\text{K)}$
- Déphasage : entre 12 et 16 heures
- Capacité thermique massique : $C_p = 1558 \text{ J/(kg.K)}$
- Facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau : $\mu = 1,04$ ($S_d = 0,12 \text{ m}$)
- Classement de réaction au feu : B - s1 - do (M1) paille enduite à la chaux
- Classement de résistance au feu : REI 120 mn / RE 120 mn (paille enduite > 40mm)
- Comportement au feu des façades : 3 essais LEPIR II réalisés
- Affaiblissement acoustique : -43db (paille enduite à la terre crue)
- Valeur pour label bâtiment biosourcé : 40kg/m²
- Empreinte carbone (Base INIES) : -24.7 kg CO₂ eq./m² paroi (donnée environnementale par défaut)
- Elle est classée A+ en émission de COV.

NB : Tous les rapports de tests sont disponibles sur le site internet du RFCP.

1.1 Filière paille

Système constructif #1 - Murs porteurs en botte de paille

Le développement de la fonction structurelle de la
paille



© Ville de Rosny-sous-Bois

Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
Rayon de 100 km

Synthèse du Cadre technico- normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

-A la date de réalisation du sourçage, il
n'existe pas de référentiel normatif ou
prénormatif sur le système de murs
porteurs en bottes de paille

Tests et essais performanciels

-Voir le détail du Cadre technico-normatif.
-RAPPORT Classement de résistance au feu
d'un mur paille porteuse enduit - REI 120mn
- 2020

Applications constructives

La paille, en plus de remplir sa fonction d'isolant, peut être structurelle. C'est d'ailleurs ainsi qu'est née la construction paille, dans la 2e moitié du XIXe siècle aux Etats Unis, avec l'invention de la presse agricole. Quelques bâtiments en paille structurelle, construits dans les années 1880, sont parvenus jusqu'à nous. Plusieurs bâtiments de ce type existent de France, y compris des ERP, citons par exemple l'écocentre Pierre et Terre à Riscle (32) et l'école Les Boutours à Rosny-sous-Bois (93).

Le principe constructif consiste à empiler des bottes de paille entre une lisse basse et une lisse haute. Dans le cas de petites bottes, elles sont posées à plat, pour une emprise au sol de 47 cm (hors finition). Dans le cas de grosses bottes, elles sont positionnées sur champs, pour une emprise au sol de 70 cm (hors finition).

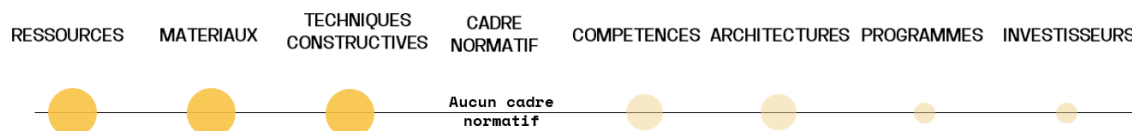
Du bois pour répartir les charges sur la paille

Les bottes sont disposées sur une lisse basse en bois, dans laquelle sont coincées des broches en bois verticales. Ces dernières assurent un bon maintien du premier lit de bottes. Les bottes sont ensuite disposées en quinconce, de manière à décaler les joints. Certaines bottes nécessitent d'être redimensionnées pour compléter une rangée. Une fois le mur monté, la lisse haute est posée. Cette dernière permet de répartir uniformément les charges sur toute la longueur du mur.

Le serrage des sangles qui entourent le mur, passant sous la lisse basse et sur la lisse haute, vient fortement comprimer les bottes. Suffisamment tassée, la paille peut alors supporter des charges, elle joue alors son rôle structurel. Les précadres qui accueilleront les fenêtres et les portes sont alors posés et la paille peut d'ores-et-déjà porter un étage supplémentaire ou la charpente. [Source : Amaco]. La paille est généralement enduite sur ces 2 faces, l'absence de structure bois ne permettant pas la fixation d'un bardage.

Cadre technico-normatif

Des membres du Réseau Français de la Construction en Paille travaillent actuellement à la rédaction de recommandations techniques spécifiques à la paille porteuse. Néanmoins, à la date de réalisation du sourçage, ce procédé constructif relève encore de la recherche expérimentale. A ce titre, il ne semble donc être visé par aucun référentiel, même du type guide de bonnes pratiques. Celui-ci relève en conséquence pleinement de la notion de technique non courante. L'attention du lecteur est donc attirée sur la difficulté majeure de la collecte d'éléments pertinents, qui pourrait être rencontrée si cette technique devait être envisagée pour un projet.



1.1 Filière paille

Système constructif #2 - Isolation thermique de mur ou façade à ossature bois avec des bottes de paille

Des qualités d'isolation déjà reconnues et mobilisées



© Ekopolis

Données clés

Aire géographique d'approvisionnement :
rayon de 100 km

Coût de fabrication : botte de paille 6 à 10€ HT /m² (fourniture) ; MOB 130 à 150€ HT /m² (fourniture)

Délais : environ 3 semaines selon disponibilité des stocks

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs
- Règles professionnelles « Construction en paille, remplissage isolant et support d'enduit » acceptées par la C2P RP-A

Tests et essais performanciels
- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Prédominante chez les entreprises artisanales et auto-constructeurs cette technique consistant à remplir une ossature bois avec des bottes de paille est mise en œuvre sur site ou en préfabrication.

Préfabrication en atelier

Technique la plus répandue en termes de surface bâtie avec de la paille, elle consiste à fabriquer en atelier des caissons isolés. Le bâtiment peut ensuite être levé très rapidement (quelques jours pour une habitation à quelques semaines pour de grands bâtiments). Ces caissons sont porteurs dans le cas de murs à ossature bois (COB) conformes au NF DTU 31.2 et non porteurs dans le cas de façades à ossature bois (FOB) conformes au NF DTU 31.4 et rapportées devant ou entre les éléments de la superstructure du bâtiment. (NB: voir la définition des COB et FOB dans la partie filière bois.)

Avantages : réduit la pénibilité, les délais et la durée des chantiers, les coûts, et augmente la qualité de mise en œuvre.

Limites : les éléments assemblés doivent être transportés par camion dans les gabarits routiers standards puis levés par une grue sur le chantier et positionnés à la main avec des tirants levants. Le stockage et la manipulation de grosses pièces peuvent également poser problème pour les artisans. Cette technique est donc réservée aux entreprises bénéficiant déjà d'installations suffisantes.

Coût concurrentiel

Certains charpentiers proposent déjà des coûts de l'ordre de 1800-1500€ HT/m² SHAB pour des bâtiments passifs en ossature bois (enveloppe et planchers). Ceux-ci sont donc très performants et au même niveau de qualité que la construction conventionnelle en béton. Ce signal prix pourrait faire basculer la filière dans la massification.

Cadre technico-normatif

Isolation thermique de murs

A la date de réalisation du sourçage, il existe des règles professionnelles « Construction en paille, remplissage isolant et support d'enduit » acceptées par la C2P sans un suivi nécessaire du retour d'expérience (RP-A). Ces règles regroupent deux procédés dont le procédé d'isolation thermique de murs à ossature bois avec des bottes de pailles. Ainsi, dans la mesure où le référentiel est respecté en tous points, ce procédé est reconnu en technique courante. Pour rappel, ces règles professionnelles visent l'isolation thermique de mur à ossature bois (relevant du DTU 31.2) des locaux de type EA, EB, EB+ privatif à faible ou moyenne hygrométrie, pour la rénovation ou construction neuve. Les types de bâtiments visés sont les logements individuels ou collectifs, les locaux commerciaux et les ERP dont le plancher bas du dernier niveau est à moins de 8 mètres du sol.

Isolation thermique de façade

A la date de réalisation du sourçage, il n'existe aucun référentiel technique visant un procédé d'isolation thermique de façade à ossature bois (DTU 31.4) avec un isolant en botte de paille. Ce procédé est ainsi reconnu à date en technique non courante. Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes;
- De faire reconnaître, préalablement à toute prescription/emploi, les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses) par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction, de toutes les parties potentiellement concernées ; Nb: Pour démontrer l'atteinte de la fiabilité attendue, il est rappelé que ces démarches sont

1.1 Filière paille

Systeme constructif #3 - Isolation thermique de mur par l'extérieur avec des bottes de pailles

Un procédé efficace mais encore peu exploité



© David Madiot

Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
Rayon de 100 km

Délais
Environ 3 semaines selon disponibilité des stocks

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs
-A la date de réalisation du sourçage, il n'existe pas de référentiel normatif ou prénormatif sur le système d'isolation thermique de mur par l'extérieur avec enduit sur isolant en paille.

Tests et essais performanciels
-Voir le détail du Cadre technico-normatif

Applications constructives

La botte de paille peut être utilisée en isolation thermique par l'extérieur (ITE). Les bottes de paille sont fixées au mur existant ou sont insérées dans une ossature secondaire, elle-même fixée au mur existant.

Solutions constructives existantes

Différentes solutions techniques développées dont certaines présentent des similitudes avec les règles professionnelles de la construction paille.

ITE épais

Freins : L'emprise sur le domaine public est possible si le PLU permet des encorbellements ; les problématiques d'accessibilité des fenêtres et balcons sont à prendre en compte.
Leviers : Les surfaces de plancher créées par l'ITE sont exclues des taxes d'urbanisme. Il est possible de tirer parti de l'épaisseur du complexe ITE paille pour créer une façade habitée ; intégrer de nouvelles fonctions entre un ITE autoportant et la façade existante (déambulation, loggias, escaliers, ascenseurs...) ; surélever les bâtiments en utilisant l'épaisseur de l'ITE pour réaliser la descente de charges.

Rénovation des passoires énergétiques

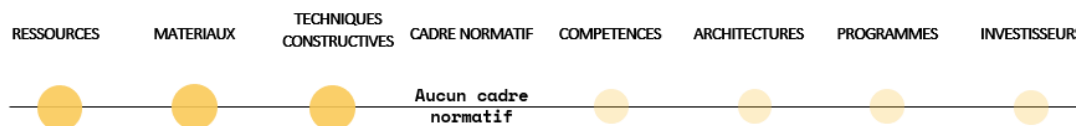
30% des consommations énergétiques finales et 14,5% des émissions de CO₂ en France proviennent des logements. C'est donc un enjeu majeur à laquelle la paille en ITE peut potentiellement répondre. Un exemple récent est celui du bailleur social Paris Habitat qui a expérimenté l'ITE enduite à la chaux sur un immeuble parisien de 7 étages.

Cadre technico-normatif

A la date de réalisation du sourçage, il n'existe aucun référentiel technique visant un procédé d'isolation thermique de mur par l'extérieur avec enduit ou bardage ventilé sur isolant en paille pour la construction neuve ou pour la rénovation énergétique. Ce procédé est ainsi reconnu à date en technique non courante. Il a cependant des similitudes avec le procédé d'isolation thermique de murs à ossature bois (DTU 31.2) avec des bottes de pailles, complété par le procédé d'enduits sur support bottes de paille ou de bardage ventilé sur support bottes de paille. Ainsi, en se basant sur ce qui précède, on peut évaluer la maturité du procédé à un niveau quasiment équivalent à celui d'une reconnaissance via des règles professionnelles.

Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question ;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes ;
- De faire reconnaître, préalablement à toute prescription/emploi, les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses) par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction, de toutes les parties potentiellement concernées ; Nb: Pour démontrer l'atteinte de la fiabilité attendue, il est rappelé que ces démarches sont des démarches exigeantes, qui mobilisent souvent une expertise très élevée, du temps et des financements substantiels pour les mener de façon probante.



1.1 Filière paille

Système constructif #4 – Isolation thermique en vrac de paroi à ossature bois à base de paille hachée insufflée

Une technique prometteuse aux applications multiples



@ ielo

Données clés

Coût de fabrication

13€ HT / m² (fourniture) pour ép. 20cm
28€ HT / m² (fourniture + pose) pour ép. 20
cm

Synthèse du Cadre technico- normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

-ATEX de cas B
-ATec à venir en 2023

Tests et essais performanciels

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

De la paille insufflée

Cette technique d'isolation consiste à injecter des fibres sous pression et à sec, à l'aide d'une machine et d'un tuyau, de bas en haut pour une meilleure densité et un meilleur tassement. Les trous d'insufflation sont refermés et étanchés avec du pare-vapeur.

L'utilisation de la machine à insuffler nécessite une maîtrise spécifique. Plusieurs formations seront dispensées en France pour développer l'emploi de la paille hachée comme isolant.

L'isolation en paille insufflée est applicable aux projets de construction neuve et de réhabilitation. Le recours à cette technique est possible pour tous types d'ossatures fermées en bois, à même de contenir la paille hachée :

- Parois verticales ou inclinées : murs extérieurs et rampants de toitures
- Parois horizontales : planchers
- Cloisons ou contre-cloisons maçonnées pour isolation thermo-acoustique

Caractéristiques techniques (données Ielo / RFCEP)

Densité de mise en œuvre conseillée : 110 kg/m³

Conductivité thermique : 0,043 W/m.K

Stockage carbone : 12kg.CO₂/m²

Moteur de confort : hygroscopique

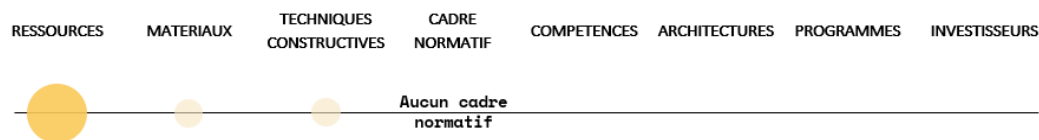
Pas de FDES pour le moment

Cadre technico-normatif

A la date de réalisation du sourçage, il n'existe aucun référentiel technique traditionnel visant un procédé d'isolation thermique en vrac de paroi à ossature bois à base de paille hachée insufflée.

Cependant à date, plusieurs projets de construction de bâtiments publics isolés en paille hachée font, a priori, l'objet d'Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX) de cas B et de suivis expérimentaux, pour le compte de la société coopérative d'intérêt collectif « Ielo ». Ainsi, dans la mesure où l'ATEX est respectée en tous points, le présent procédé est reconnu en technique courante. Ils ont pour objectif l'obtention d'un avis technique à partir de 2023, permettant à leur procédé d'être reconnu comme technique courante dans les conditions de leur évaluation et en respectant l'intégralité de celle-ci.

Un développement crédible, dans la zone géographique de la présente mission, de ce procédé considéré comme relativement prometteur, reposerait sur une reproduction à l'identique de la stratégie d'évaluation adoptée par Ielo.



1.1 Filière paille

Compétences & impact social

La formation : clef de voûte du développement de la filière

Données clés

--

Normandie

Nombre de personne Formés Pro Paille
70 (depuis fin 2019)
30 / an

Proportion par métier
Env. 50% conception / 50% réalisation

--

Ile-de-France

Nombre de personne Formés Pro Paille
234 (depuis 2012)

40 / an :
- 2018 : 21
- 2019 : 54
- 2020 : 36
- 2021 : 64
- 2022 (en cours) : 22

Proportion par métier
Conception (MOE, AMO, BC) :
87%
Réalisation (artisans charpentiers et maçons, conducteur de travaux) :
13%

Données RFCP

Savoir-faire pour chacun des acteurs de la chaîne

Des emplois locaux et qualifiés

Ressource abondante en Normandie et Ile de France et transformée sur le territoire inter-régional, la botte de paille contribue à l'économie locale. Elle vient en substitution de matériaux d'isolation produits hors de la Région Normandie/Ile de France.

En amont, le pressage des andins en bottes de paille par les agriculteurs demande un savoir-faire et un équipement spécifique, valorisé économiquement par les acteurs de la construction : une botte de paille conforme aux Règles Professionnelles est vendue plus chère qu'une botte de paille "standard".

En aval, au sein de l'entreprise de construction bois, l'utilisation de la botte de paille implique une main d'œuvre formée et locale. Face au faible coût de la botte de paille, une plus grande part du prix de revient du m² de mur revient à la part "main d'œuvre".

Un enjeu de formation

Les Règles Professionnelles de la construction en paille, imposent aux personnes qui prescrivent et mettent en œuvre de la paille conformément à ces règles de :

- suivre avec succès une formation relative à ces règles et certifiée par la RFCP; Et / ou :
- faire valider leurs acquis et expériences.

Le référentiel de formation visé par les règles professionnelles est celui mis en place par le RFCP, à savoir le référentiel "Pro-paille"

Il existe également une formation en Hauts-de-France, Normandie et Bretagne destinée à accompagner les exploitants agricoles à la transformation de la paille en bottes de paille conformes à l'utilisation en isolant biosourcé.

D'une manière générale, la formation aux techniques de conception et de construction paille doit être élargie, diversifiée et amplifiée. Certains corps de métiers ont besoin de formations spécifiques complémentaires : assistance à maîtrise d'ouvrage, formations intra-entreprise, économistes de la construction... D'autre part, l'intégration de contenus pédagogiques sur la construction paille en formation initiale permettrait de mieux faire connaître ce matériau aux jeunes professionnels.

Intelligence collective

Un nécessaire dialogue entre corps de métiers

De par ses spécificités, la construction paille demande à chaque intervenant de l'acte de construire de modifier ses pratiques et de dialoguer avec les autres corps de métiers, tant en phase conception qu'en phase chantier. Elle incite au décloisonnement des acteurs pour aboutir à des projets techniques et économiquement réussis.

Une intégration anticipée des acteurs de la MOE

L'intégration dans le projet d'un bureau de contrôle doit être mis en place dès le démarrage des études pour aider à lever les blocages normatifs.

BET spécialisés sont indispensables pour relever les défis techniques.

La construction hors site et le travail de calepinage sont deux facteurs qui nécessitent un temps plus long d'étude de MOE en amont. Cela implique un coût d'étude de MOE approprié.

1.1 Filière paille

Architectures Références d'ERP

Groupe scolaire Simone Veil [93]

- MOA : Ville de Rosny-sous-Bois
- MOE : Ville de Rosny-sous-Bois
- Année : 2021
- Coût : 9 000 000€ HT
- Mode constructif : Mur ossature bois remplissage paille 47 cm

Groupe Scolaire - Les Boutours 2 [93]

- MOA : Ville de Rosny-sous-Bois
- MOE : Ville de Rosny-sous-Bois
- Année : 2017
- Coût : 1 940 000€ HT
- Mode constructif : Paille porteuse

Centre de loisirs - Jacques Chirac [93]

- MOA : Ville de Rosny-sous-Bois
- MOE : Ville de Rosny-sous-Bois
- Année : 2019
- Coût : 3 500 000€ HT
- Mode constructif : Paille porteuse

La Ferme du Rail [75]

- MOA : Réhabail
- MOE : Grand Huit avec Albert et cie (AMO), Scoping (BET TCE), Gamba (BET acoustique) et Toreana, Pouget (BE thermique), Mélanie Drevet paysagiste
- Année : 2019
- Coût : 3 300 000€ HT
- Mode constructif : Structure bois remplissage botte de paille



Groupe scolaire Simone Veil @Juan Sepulveda



Centre de loisirs - Jacques Chirac



Groupe Scolaire - Les Boutours 2



La ferme du Rail @ Myr Muratet

1.1 Filière paille

Architectures Références d'ERP

Ecole "Hessel - Zefirottes" [93]

- MOA : Mairie de Montreuil
- MOE : Méandre ETC / Panorama Paysagistes / ALTO Ingénierie / EBBE / Gaujard / Progexial / Novorest / AVA / VPEAS / AXCE sécurité
- Année : 2015
- Coût : 13 M € HT
- Mode constructif : Ossature porteuse contreventée

Groupe scolaire Louise Michel [92]

- MOA : SEMADS
- MOE : ADSC / Bernard Dufournet EURL / Gaujard Technologie Scop / Arcora / Alhyange Acoustique / Tekhné Ingénierie / LCR LBE Fluides / ISE
- Année : 2013
- Coût : 11 085 000 € HT
- Mode constructif : Caissons porteurs

Ecole Victor Schoelcher [93]

- MOA : Ville d'Epinay-sur-Seine
- MOE : Atelier Desmichelle / B.A.bo / Delage et Couliou / Lamalle / Jean-Guy Hugue
- Année : 2016
- Coût : 2 100 000€ HT
- Mode constructif : Caissons porteurs

Restructuration restaurant universitaire Champlain, Poitiers [86]

- MOA : CROUS de Poitiers
- MOE : Agence Duclos Riboulot Kester Architectes, Climat Conseil, Soneco, Arcabois, Poureau, Ad Hoc
- Année : 2022
- Coût : 3,4 € HT
- Programme : tertiaire
- Mode constructif : démarche BDNA, ITE en paille hachée insufflée dans des caissons (ATEX de Cas B)



Ecole "Hessel - Zefirottes" de Montreuil [93]



Groupe scolaire Louise Michel [92]



Ecole Victor Schoelcher [93]



Restaurant universitaire Champlain, Poitiers [86]

1.1 Filière paille

Architectures Références d'ERP

Cité scolaire de Tourny [27]

- MOA : Commune de Vexin-sur-Epte
- MOE : MWAH Agence d'architecture
- Année : 2019
- Coût : 3,73 M € HT (travaux, signalétique, mobilier)
- Mode constructif : Structure béton, caissons rapportés isolés en bottes de paille



Crèche "La Chaumière" [76]

- MOA : Communauté de Communes Campagnes de Caux
- MOE : Frédéric Denise Architecte
- Année : 2015
- Coût : 753 000 € HT
- Mode constructif : ITE Paille sur mur béton et ossature bois remplissage bottes de paille



Maison de l'habitat Périgueux [24]

- MOA : SEMIPER
- MOE : CoCo Architecture, Scapa Architectes, Works Ingenierie, Axeplan, TSA24, SIGMA Acoustique, Atelier du Sillon, GR BIM, NOBATEK/INEF4
- Année : 2023
- Coût : 9,465 M € HT
- Programme : bureaux
- Mode constructif : Paille hachée insufflée dans des caissons bois de façade



Pépinière d'entreprises Prébo'Cap [14]

- MOA : Villers Bocage Intercom
- MOE : JV Archi & associé
- Année : 2018
- Coût : NC
- Mode constructif : Ossature porteuse contreventée

En haut à gauche : Cité scolaire de Tourny [27]
Au milieu à gauche : Crèche "La chaumière" [76]
En bas à gauche : Pépinière d'entreprises Prébo'Cap [14]
En bas à droite : Maison de l'Habitat, Périgueux [24]



1.1 Filière paille

Architectures Références de logements

Logements sociaux [76]

- MOA : La Foncière Chênelet
- MOE : Bureau Calaisien d'Architecture et de Création - Mathieu Marty
- Année : 2020
- Coût : NC
- Mode constructif : Ossature porteuse contreventée

Les Z'Ecobatisseurs [14]

- MOA : SCCC Les Z'Ecobatisseurs
- MOE : Knapp Versavel Architectes
- Année : 2012
- Coût : 1 700 000 € HT
- Mode constructif : Poteaux poutres

ITE Convention [75]

- MOA : Paris Habitat -OPH
- MOE : Trait vivant
- Année : 2020
- Coût : 220 000 € HT
- Mode constructif : ITE enduite à la chaux, sur un immeuble parisien de 7 étages

Logements sociaux bois-paille-passifs [88]

- MOA : Le Toit Vosgien SA
- MOE : ASP Architecture – Antoine Pagnoux
- Année : 2018
- Coût : 625 000 € TTC
- Mode constructif : façades et ITE en panneaux bois-paille



Logements sociaux [76]



Logements sociaux bois-paille-passifs [88]
© ASP Architecture & Terranergie



Les Z'Ecobatisseurs [14]



ITE Convention – Logements [75]
© Collect'IF paille

1.1 Filière paille

Programmes & investisseurs

Dépasser les contraintes : engagement des investisseurs et nouvelles réglementations

Données clés

601 projets référencés en France sur le site de European Straw Building Association : <https://strawbuilding.eu/category/projects-europe/projects-france/>

1031 projets référencés en France sur le site du RFCP : [Panorama de la construction paille en France](#)

Principales typologies

Un large panel de typologies de programme

La construction paille évolue rapidement en programme et typologie et permet de réaliser une vaste gamme en neuf ou réhabilitation. Aujourd'hui, habitats collectifs et individuels, établissements scolaire, sportif et culturel, centre d'incendie et de secours, bâtiments agricoles, ainsi que les secteurs du tertiaire (administratif, commercial ou industriel) et de la santé possèdent des exemples de construction paille.

Les principales contraintes à anticiper sont :

- l'épaisseur du mur, qui dans un contexte foncier contraint ne facilite pas son emploi ;
- la contrainte de calepinage liée à la taille de la botte.
- l'approvisionnement direct auprès des agriculteurs et les contraintes de saisonnalité.

Une limite réglementaire à R+2

Les règles professionnelles actuelles, pour des raisons de sécurité incendie, limitent l'emploi de la paille à des bâtiments de faible hauteur (dont le plancher bas du dernier niveau est situé à moins de 8m du sol).

Doctrine de la préfecture de police de Paris

La réglementation incendie en matière de systèmes constructifs biosourcés a été remise en cause depuis l'été 2021 par la "doctrine" des sapeurs-pompiers de la préfecture de police de Paris. Les filières bois et biosourcés travaillent actuellement avec la PPP pour avancer dans l'élaboration de solution fiables. L'organisme Adivois œuvre pour faciliter le développement d'une réglementation incendie adaptée au cadre nouveau des immeubles biosourcés de moyenne hauteur. Des projets bois-paille de moyenne hauteur sont à l'étude, en concertation avec les pompiers et bureau de contrôle.

Systèmes automatiques d'extinction à eau ou Sprinklage

Au-delà de la bonne tenue au feu d'une botte de paille constitutive d'un élément de façade, la paille ne dégage pas les fumées toxiques des isolants synthétiques en brûlant. La mise en sécurité des victimes est alors facilitée lors de l'intervention des pompiers. En revanche l'utilisation du sprinklage sur une construction biosourcée pose la question de la remise en état du bâtiment après incendie, certains matériaux biosourcés et eau ne faisant pas bon ménage.

Maîtrises d'ouvrage impliquées

Les MOA directes restent majoritaires

Les particuliers pour la construction de logement individuel constituent la majorité des investisseurs de la construction paille, suivis par les collectivités territoriales. Depuis quelques années maintenant, ils sont rejoints par les bailleurs sociaux et promoteurs.

Engagement et prise de risque

Lorsque l'on sort du cadre des techniques courantes, un engagement financier complémentaire est nécessaire de la part de la MOA pour mener ATEX et expérimentations, l'obligeant à endosser une prise de risque supplémentaire. Des AMO spécialisés dans la construction paille sont bien identifiés afin d'accompagner la MOA, mais sont en nombre insuffisant et peu présents sur le territoire de la Vallée de la Seine.

RE2020 et labels bâtiments comme leviers

- La nouvelle réglementation environnementale contraint à l'utilisation de matériaux performants et à faible émission de gaz à effets de serre.
- Les labels bâtiments type *Bâtiment Biosourcé* ou *BREEAM* jouent un rôle d'incitation auprès des MOA pour investir dans l'emploi de biosourcé afin d'obtenir des financements.

1.1 Filière *Entretiens & webinaire* *paille*

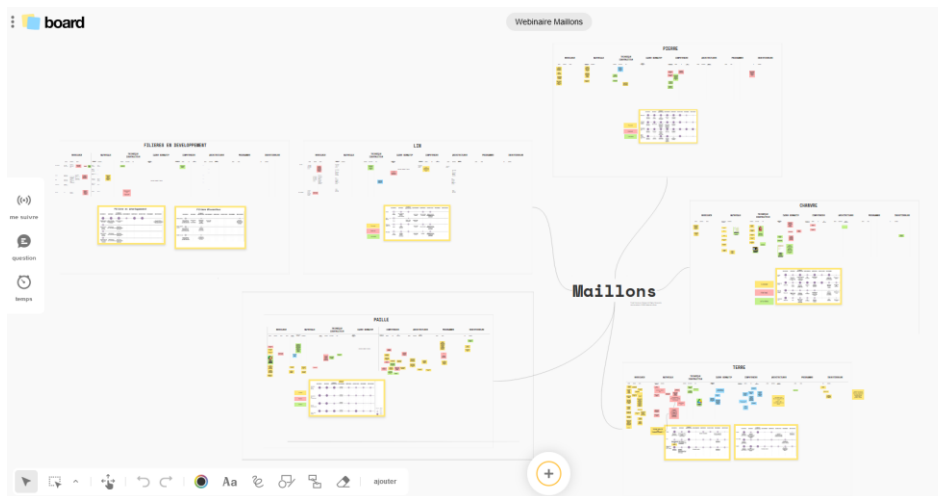
Entretiens

- **Trans-poret** – distributeur (13.03) ARPE Normandie
- **Collect'IF Paille** – interprofession (21.03) Ekopolis
- **Paille Service** – producteur (21.03) Ekopolis
- **Broussin** – producteur (23.03) ARPE Normandie
- **Bâti Sens** – fabricant (29.03) Ekopolis
- **Méha** – charpentier (31.03) Ekopolis
- **Duchesne** – entreprise/applicateur (01.04) ARPE Normandie
- **Isol'en Paille** – fabricant (08/06) Ekopolis + ARPE Normandie

Webinaire filière PAILLE : 19 mai 2022

- Cassandra Guntz (CEREMA)
- Laurent Bouyer (Enerterre)
- Carole Lemans (ENSA Normandie)
- Ghislain Moret (Rocheprise)
- Anael R. (Parc naturel Brière)
- Margaux Lebegue
- Paul Loeillot (Défis ruraux)
- Isabelle Ghestem (Chambre d'Agriculture Normandie)
- Benoît Rougelot (RFOP)
- Eric Bouvatier (Bati Sens)
- DREAL Normandie
- Remy Beauvisage (APIJ)
- Jean Poisson (Paille Service)
- Anastasia Terres – amàco
- Nicolaas Oudhof (ISOL'en Paille)

+ Webinaire à venir sur le cadre technico-normatif



1.1 Filière paille

Ressources

Bibliographie

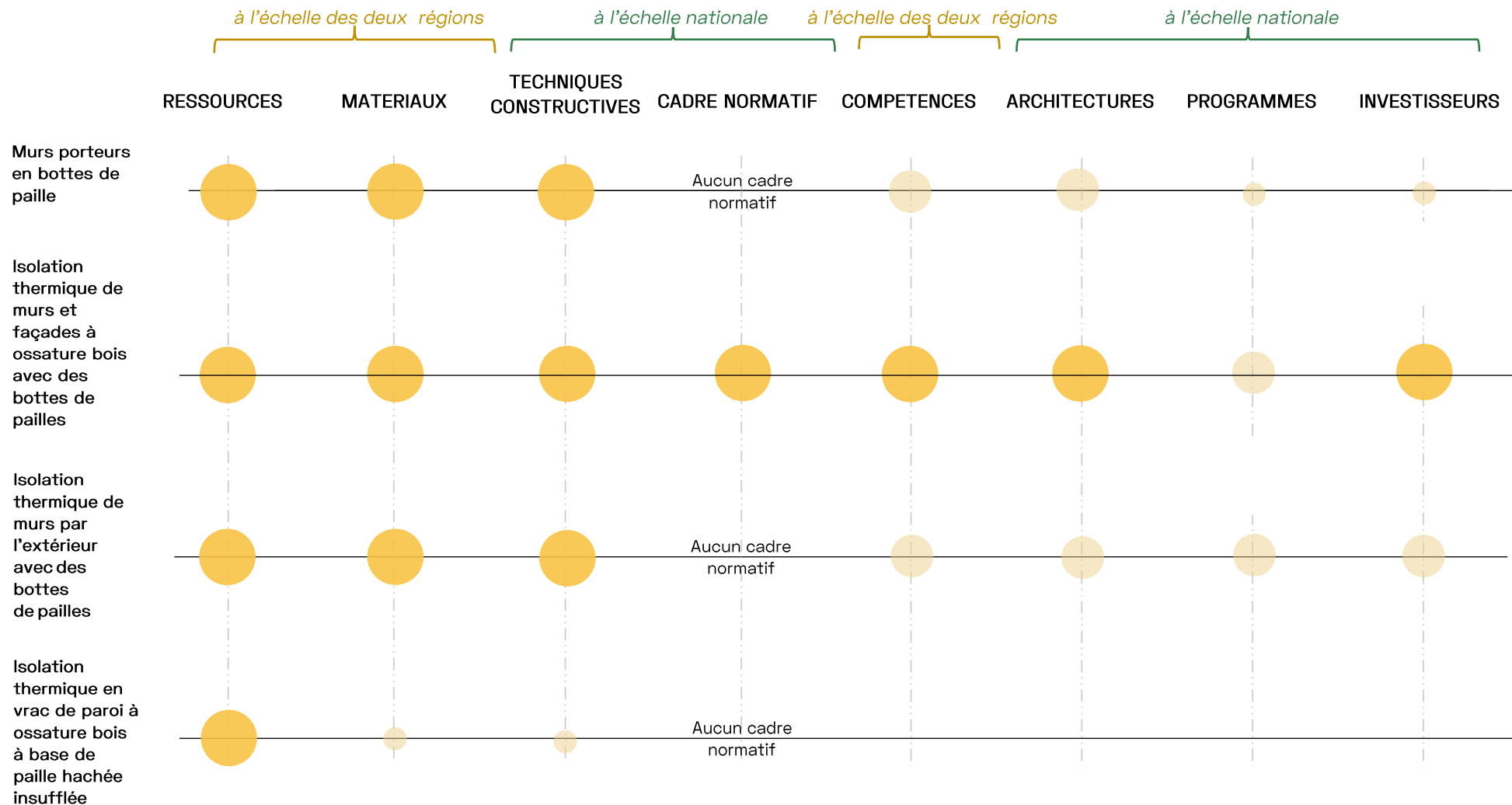
- Règles professionnelles de construction en paille CP2012 – RFCP (2012 révisées)
- Fiche isoler en Paille – RFCP (2018)
- Cahier des charges bottes de paille – RFCP (2018)
- Rapport d'étude ACV / FDES conforme aux exigences de la norme NF EN 15804 – Cerema (2015)
- Etiquetage des émissions en polluants volatils d'une «botte de paille» fournie par RFCP selon les normes ISO 16000 – Bureau Veritas (2013)
- Boîte à outils pour le développement de l'ITE paille en Île-de-France – Collect'if paille
- Vallée de la Seine : Enjeux et perspectives. Les filières des matériaux de construction biosourcés – La coopération des agences d'urbanisme de la Vallée de la Seine
- Les filières franciliennes des matériaux et produits biosourcés pour la construction – ARENE
- Les matériaux de construction biosourcés dans la commande publique – Ministère de la Transition écologique et solidaire, DGALN
- Ressources réglementaires et normatives – RFCP : <https://www.rfcp.fr/recherche-developpement-pv-dessais/>
- Livret vert de la construction en paille – RFCP (2019) : <https://fr.calameo.com/read/005834200a9500b4750a9?page=1>
- Guide de la commande publique en construction paille – ARPE Normandie (2021) : <http://www.cncp-feuillette.fr/wp-content/uploads/2021/06/UP%20STRAW%20-%20Public%20procurement%20guide-FR.pdf>
- Les rencontres professionnelles de la construction paille - 1 juin 9h -18h – Collect'IF Paille IDF

Expertises techniques complémentaires identifiées

- SCOP Gaujard technologie, Bureau d'études spécialisé dans la structure bois et l'enveloppe des bâtiments en matériaux biosourcés
- Frédéric Cousin, Conception bioclimatique et passive
- Aymeric Prigent, Expert construction paille reconnu par le RFCP - Stramen Ingénierie & Stramen Formation

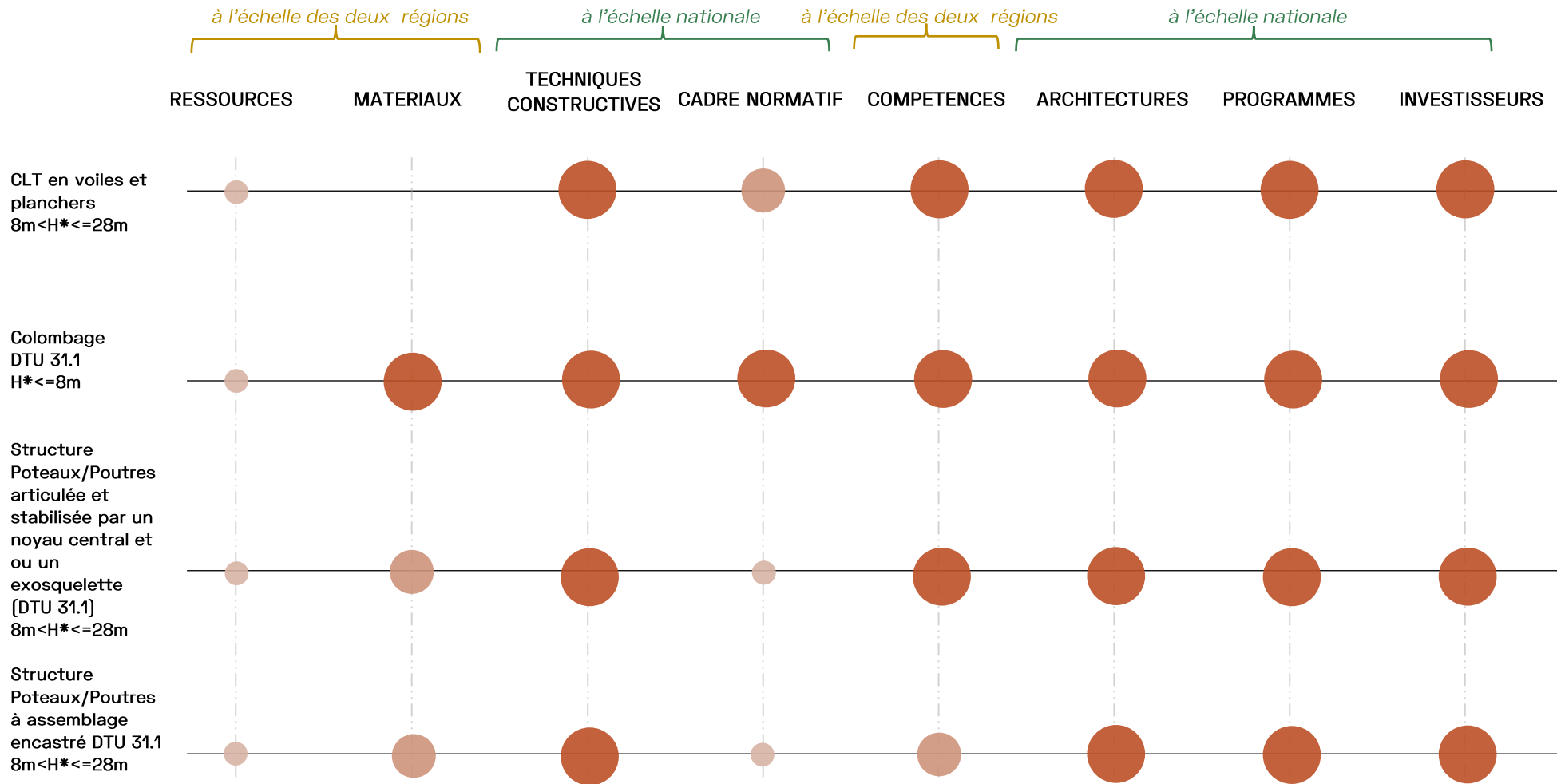
Filière Paille

Matrice de synthèse



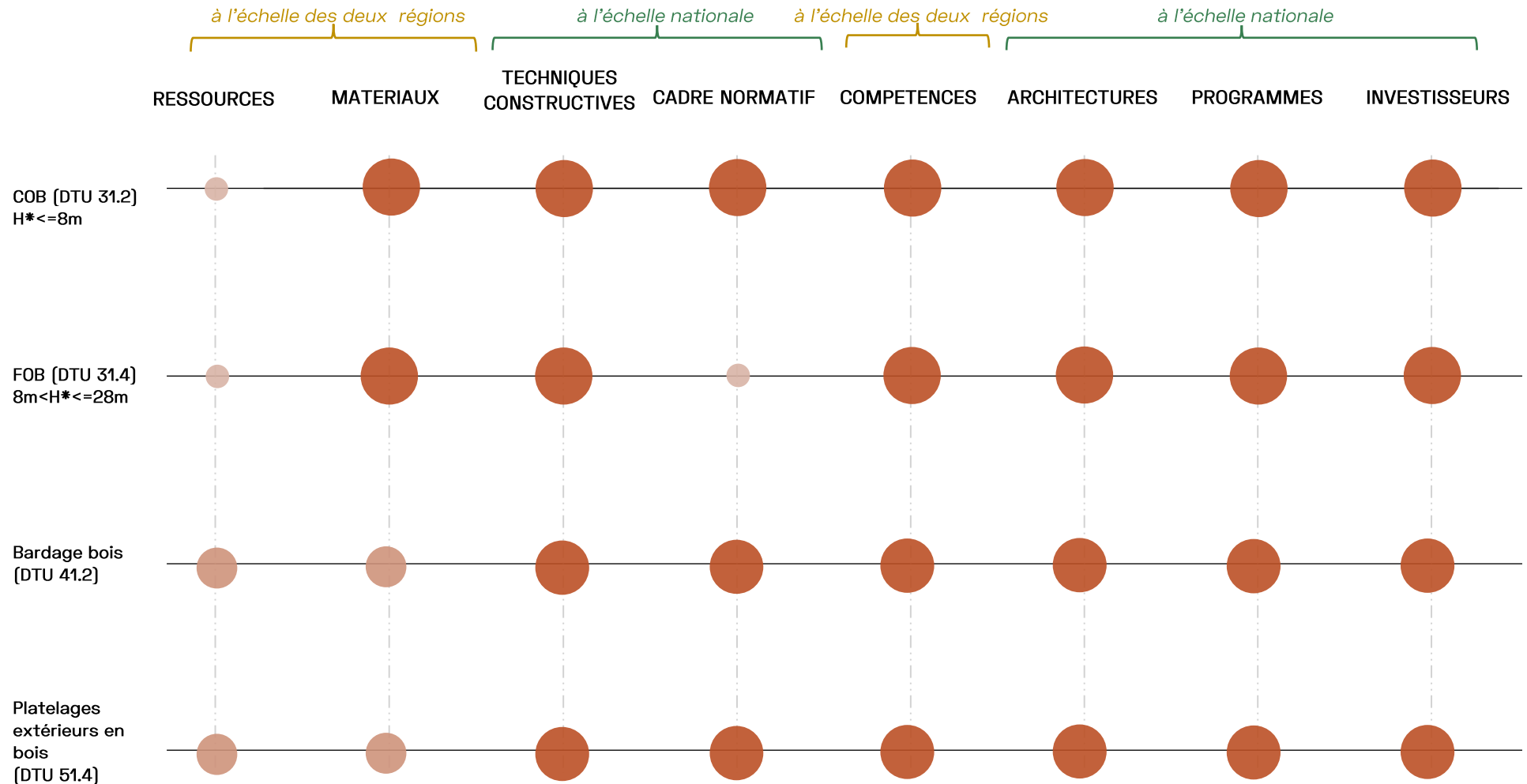
Filière Bois

Matrice de synthèse 1/2



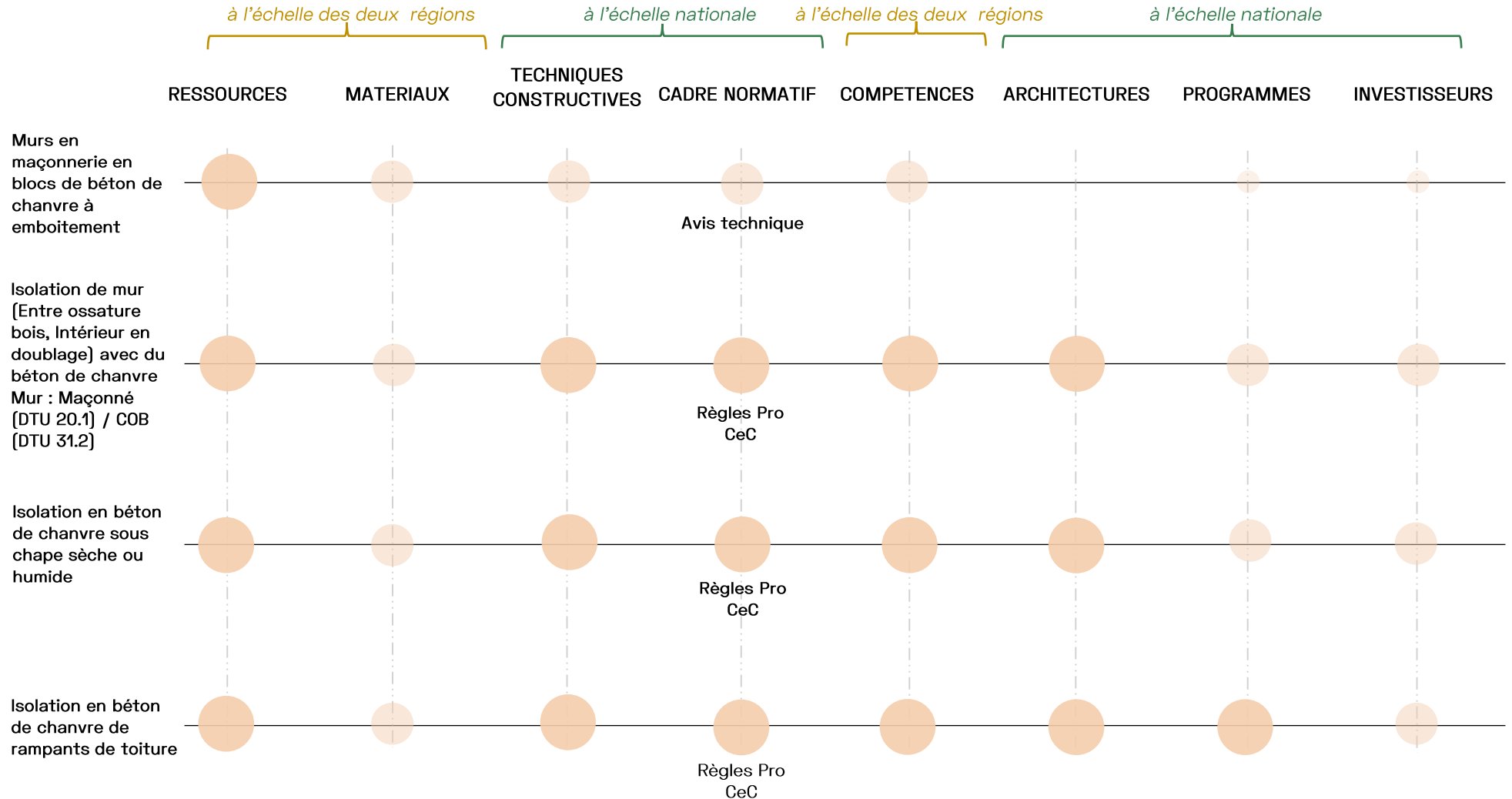
Filière Bois

Matrice de synthèse 2/2



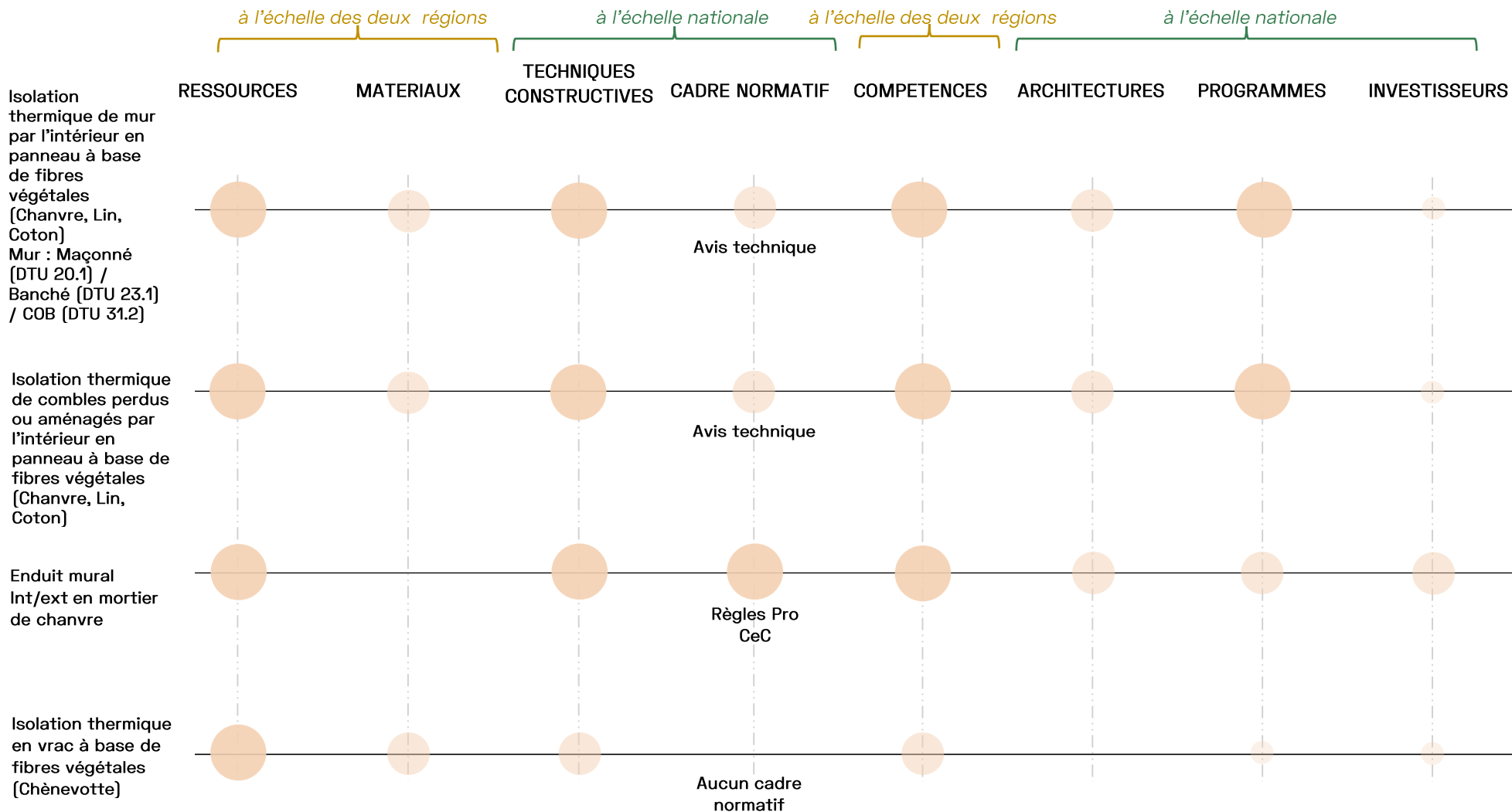
Filière Chanvre

Matrice de synthèse (1/2)



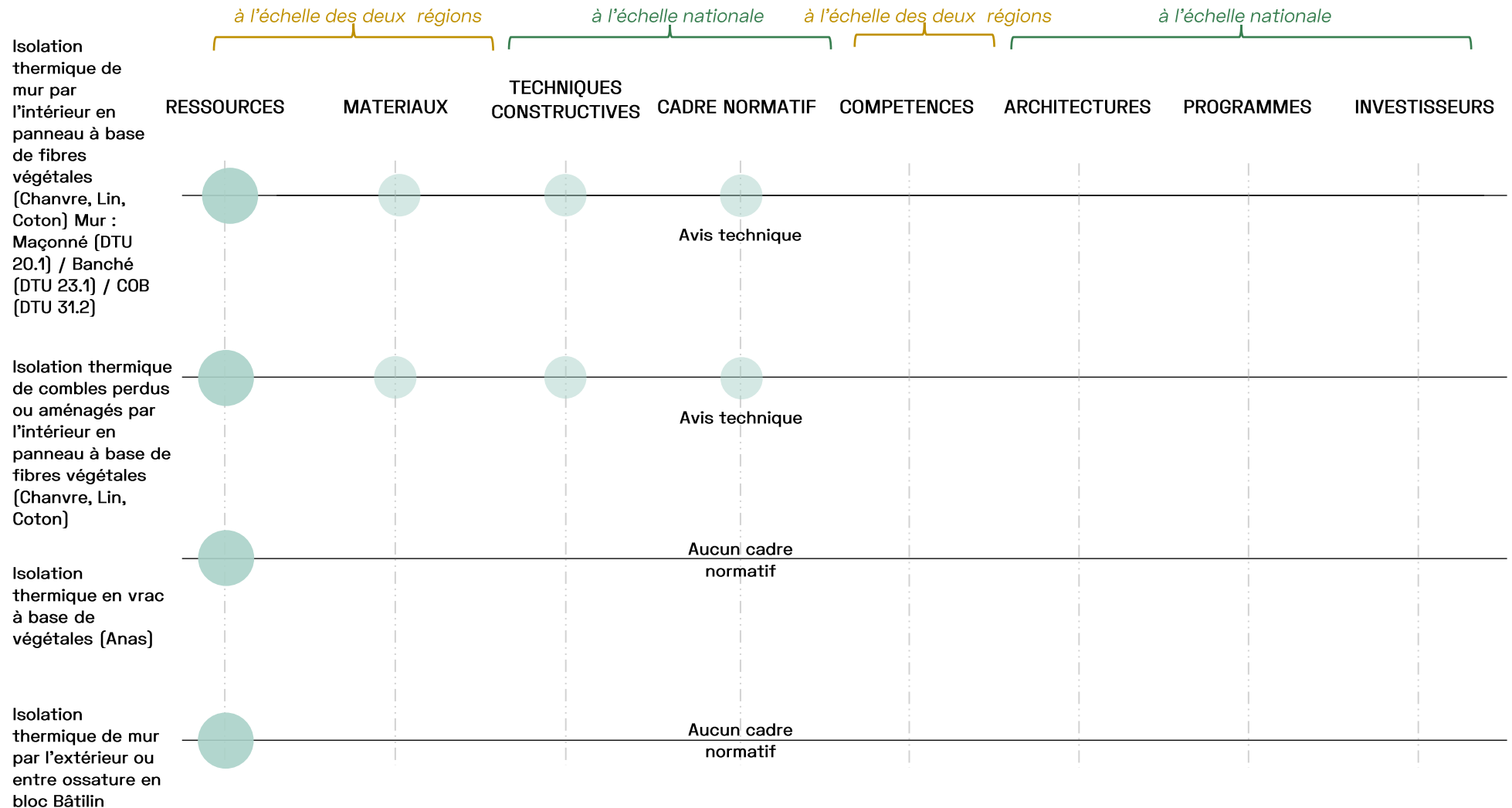
Filière Chanvre

Matrice de synthèse (2/2)



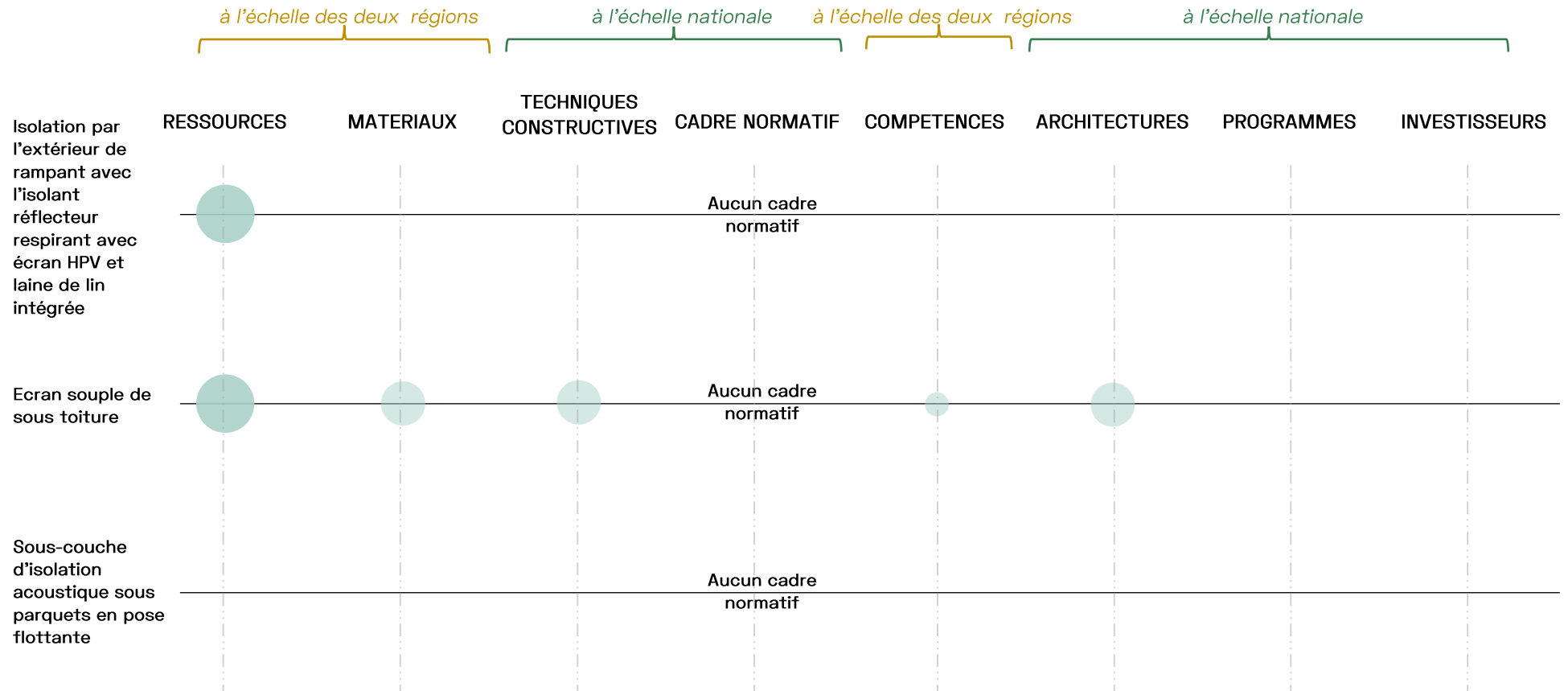
Filière Lin

Matrice de synthèse (1/2)



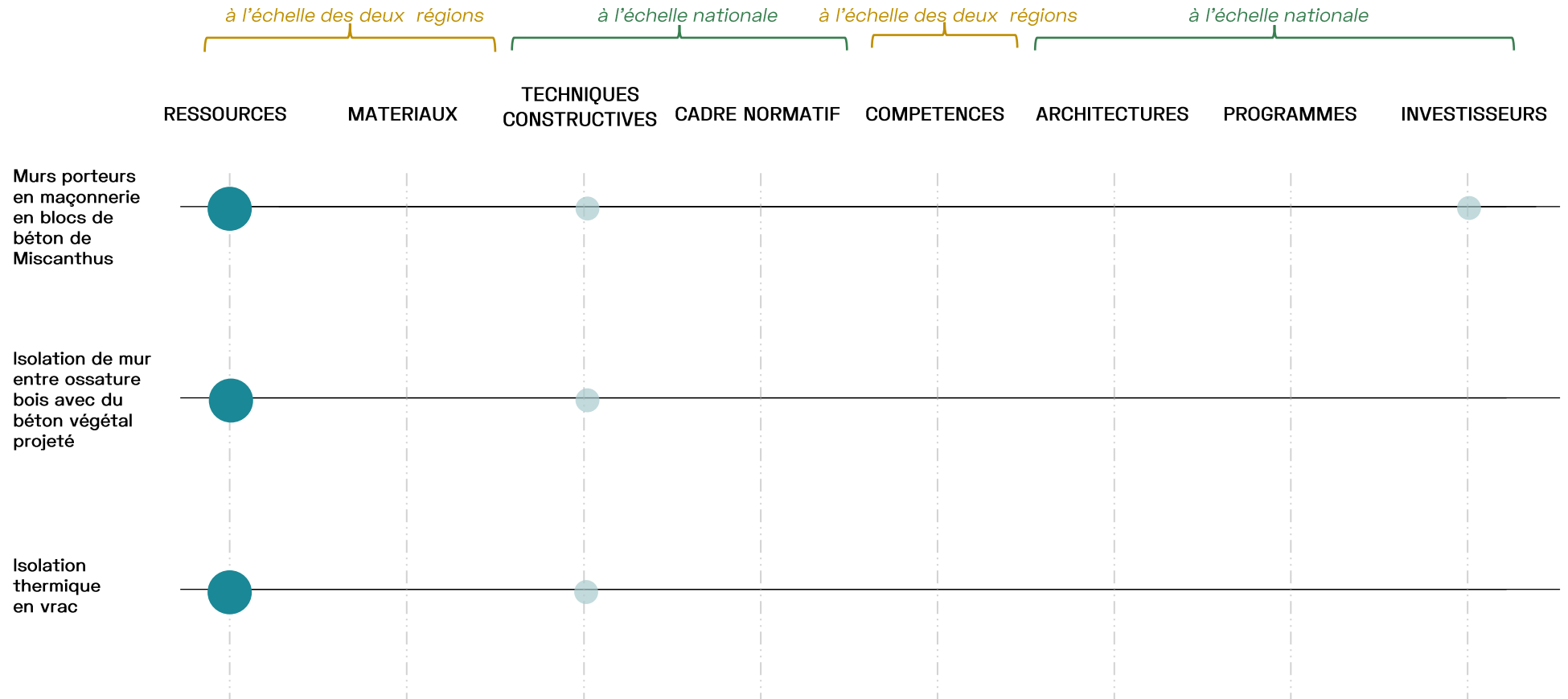
Filière Lin

Matrice de synthèse (2/2)



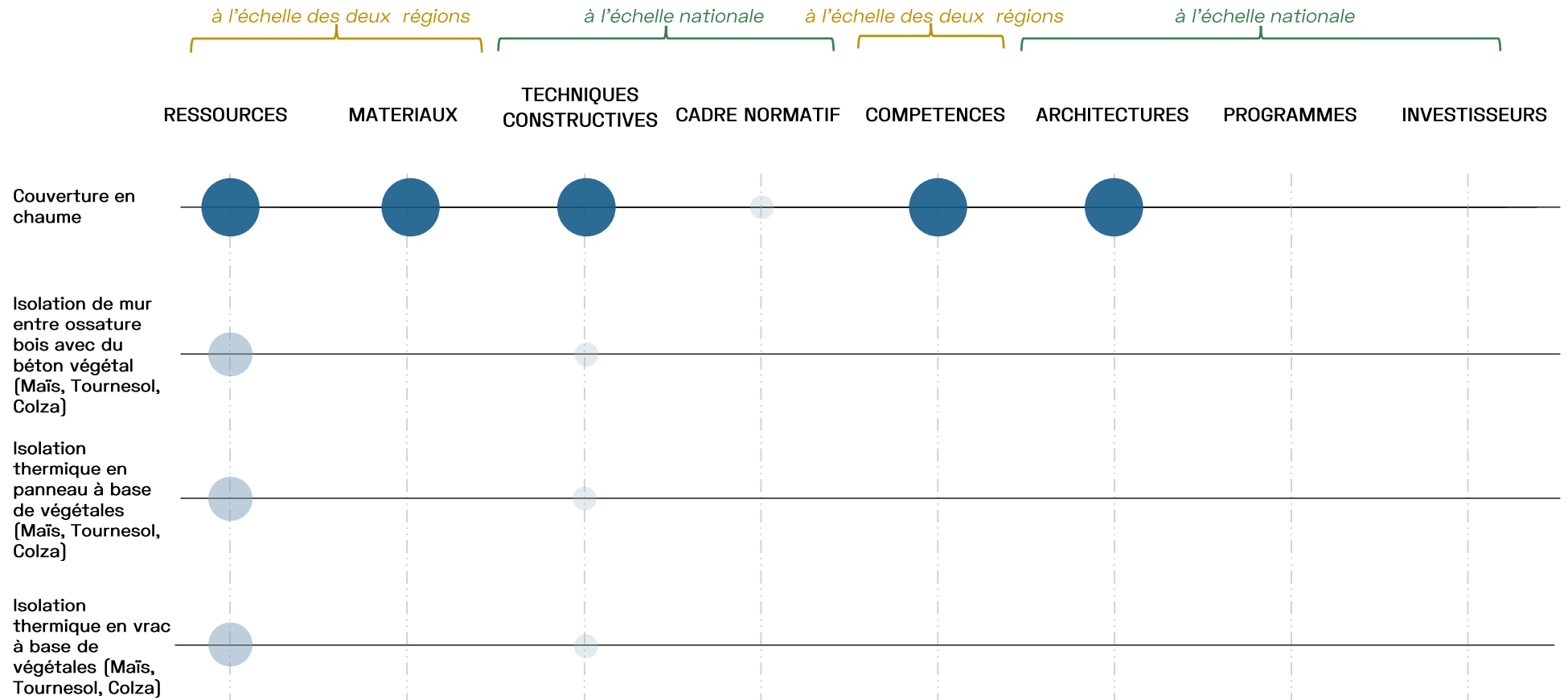
Filière Miscanthus

Matrice de synthèse



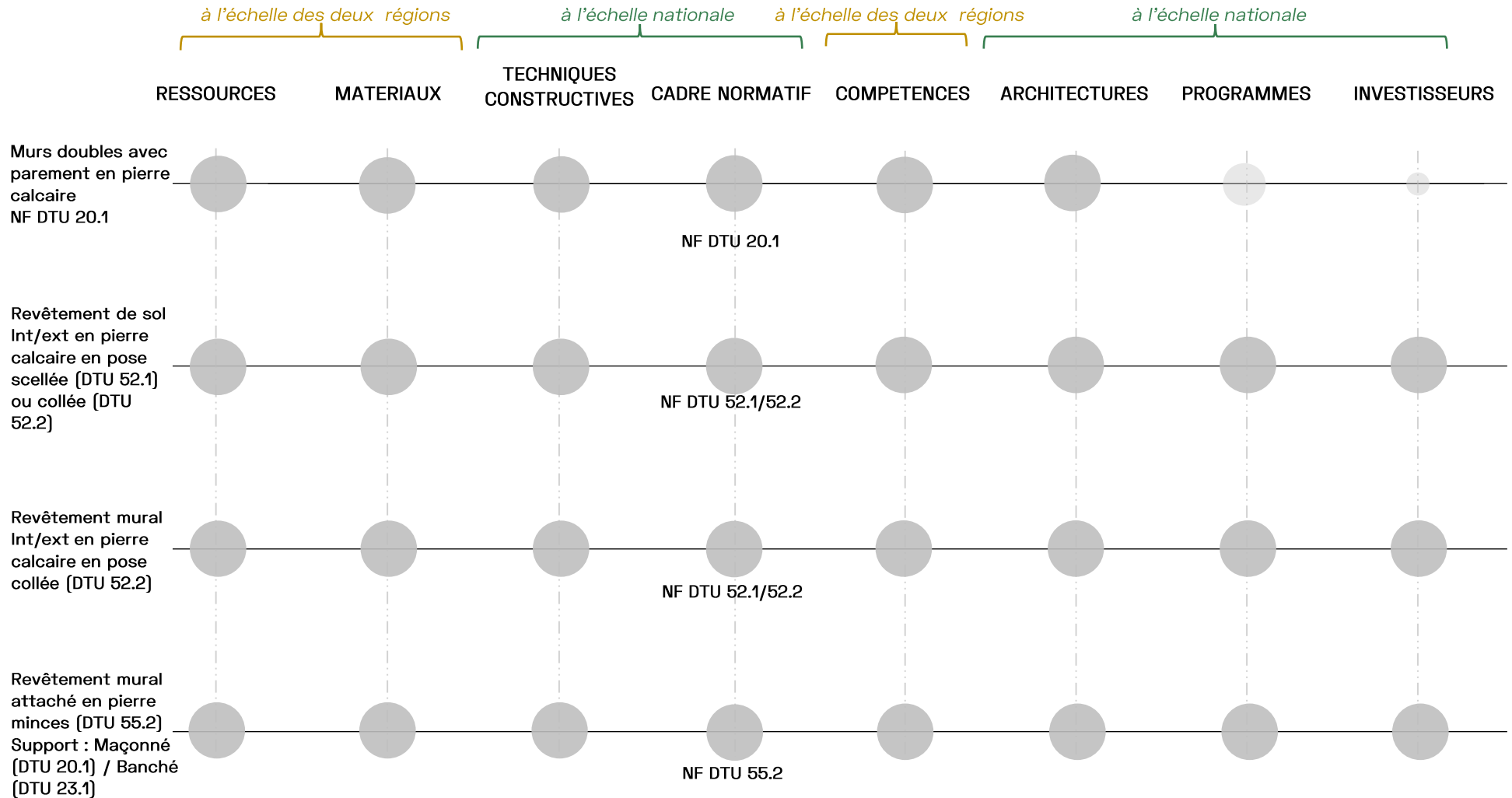
Filières en développement

Matrice de synthèse



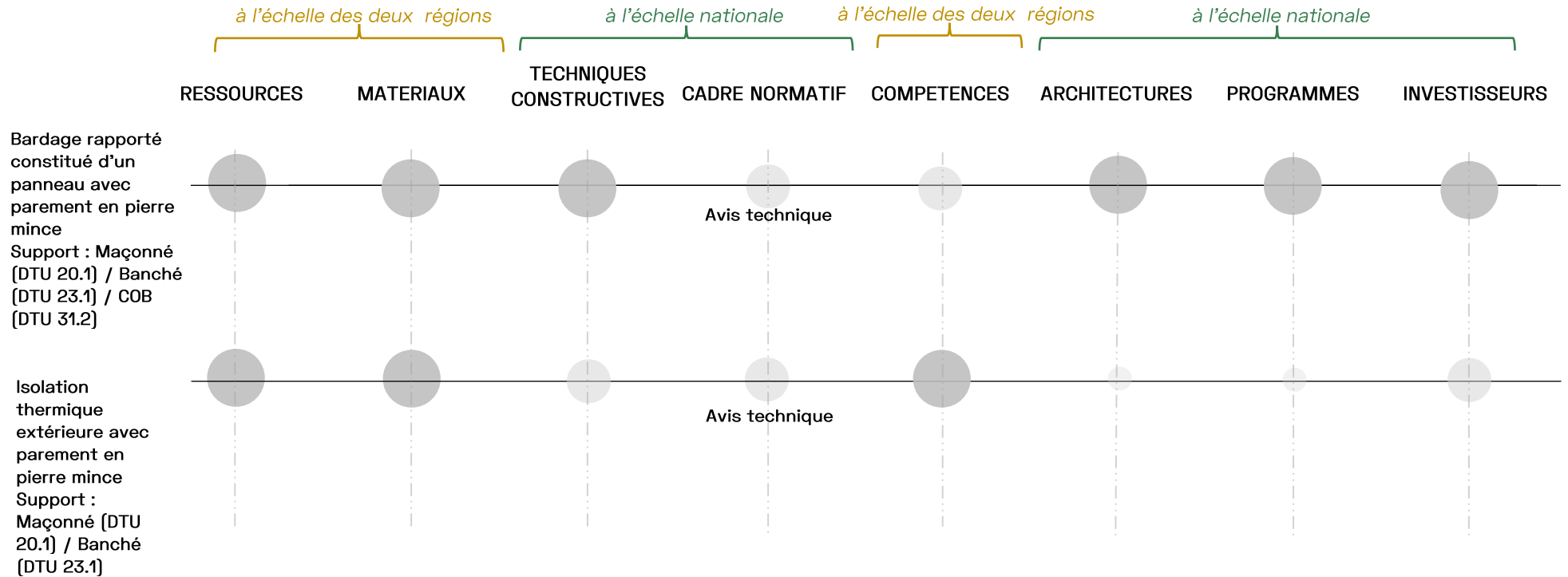
Filière Pierre

Matrice de synthèse (1/2)



Filière Pierre

Matrice de synthèse (2/2)

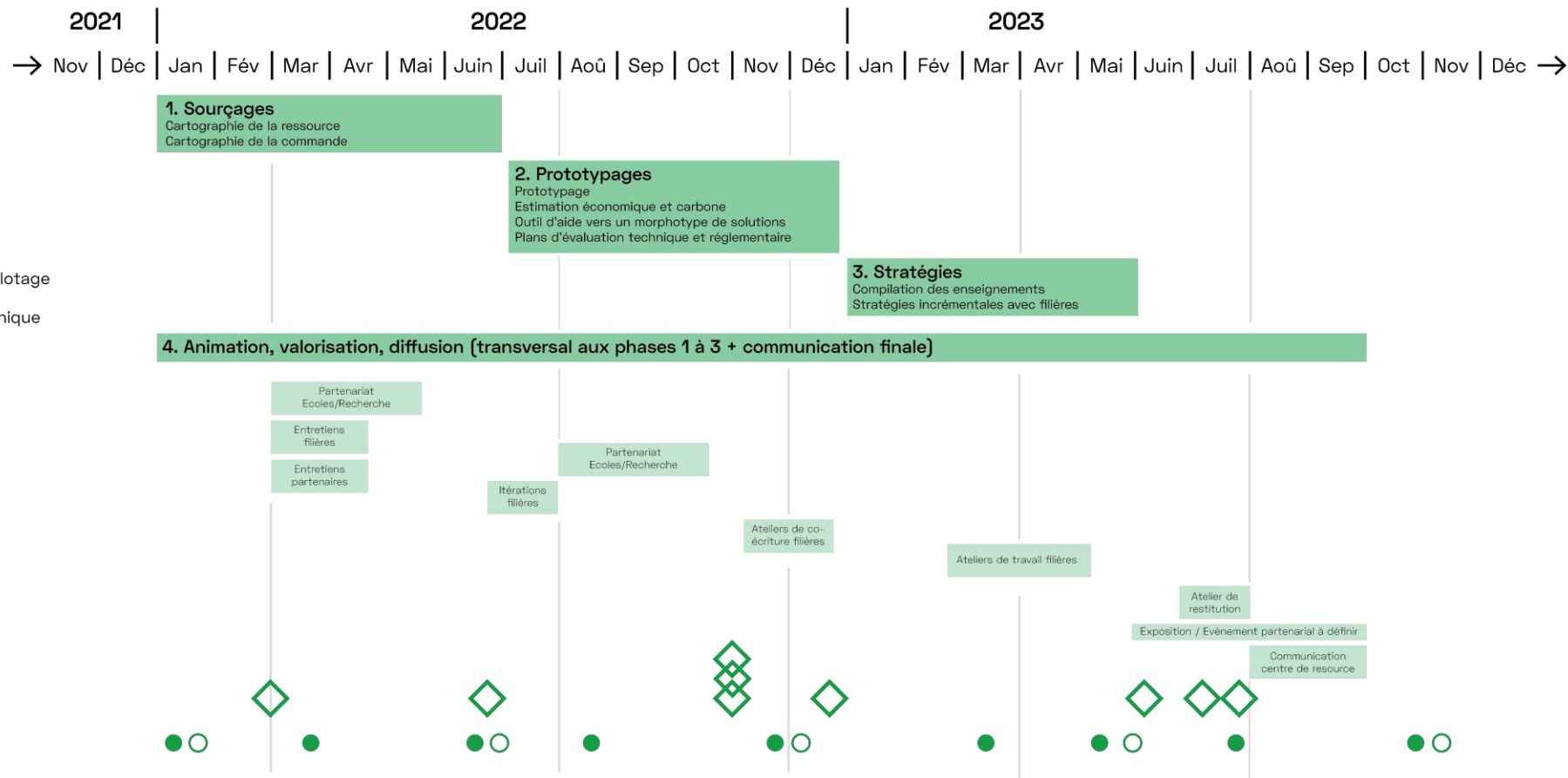


Synthèse des systèmes constructifs étudiés

Paille	1	Murs porteurs en botte de paille
	2	Isolation thermique de mur à ossature bois avec des bottes de paille
	3	Isolation thermique de mur par l'extérieur avec des bottes de paille
	4	Isolation thermique en vrac de paroi à ossature bois à base de paille hachée insufflée
Bois	5	CLT en voiles et planchers
	6	Colombage
	7	Structure poteaux/poutres articulée et stabilisée par un noyau central et/ou un exosquelette
	8	Structure poteaux/poutres encastree
	9	Construction à ossature bois
	10	Façade à ossature bois non porteuse
	11	Bardage extérieur en bois
	12	Platelages extérieurs en bois
Chanvre	13	Murs en maçonnerie en blocs de béton de chanvre à emboîtement
	14	Isolation de mur (entre ossature bois, intérieur en doublage) avec du béton de chanvre
	15	Isolation en béton de chanvre sous chape sèche ou humide
	16	Isolation en béton de chanvre de rampants de toiture
	17	Enduit mural int/ext en mortier de chanvre
	18	Isolation thermique en vrac à base de végétales (chêvenotte)
	19	Isolation thermique de mur par l'intérieur en panneau à base de fibres végétales (chanvre, lin, coton)
	20	Isolation thermique de combles perdus ou aménagés par l'intérieur en panneau à base de fibres végétales
Lin	21	Isolation thermique de mur par l'intérieur en panneau à base de fibres végétales (Chanvre, Lin, Coton)
	22	Isolation thermique de combles perdus ou aménagés par l'intérieur en panneau à base de fibres végétales (Chanvre, Lin, Coton)
	23	Isolation thermique en vrac à base de végétales (Anas)
	24	Isolation thermique de mur par l'extérieur ou entre ossature en bloc Bâtilin
	25	Isolation par l'extérieur de rampant avec l'isolant réflecteur respirant avec écran HPV et laine de lin intégrés
	26	Ecran souple de sous toiture
	27	Sous-couche d'isolation acoustique sous parquets en pose flottante
Miscanthus	28	Murs porteurs en maçonnerie en blocs de béton de miscanthus
	29	Isolation de mur entre ossature bois avec du béton végétal projeté (Miscanthus)
	30	Isolation thermique en vrac à base de végétales (Miscanthus)
Filière en dvpt	31	Couverture en chaume
	32	Isolation de mur entre ossature bois avec du béton végétal (Maïs, Tournesol, Colza)
	33	Isolation thermique en panneau à base de végétales (Maïs, Tournesol, Colza)
	34	Isolation thermique en vrac à base de végétales (Maïs, Tournesol, Colza)
Ouate de cellulose	35	Isolation thermique de combles à base de ouate de cellulose en vrac
	36	Isolation thermique de mur à base de ouate de cellulose en vrac
	37	Isolation thermique de rampant à base de ouate de cellulose en vrac
	38	Isolation en panneau à base de ouate de cellulose
Terre	39	Murs porteurs en Blocs de Terre Comprimée Stabilisée
	40	Murs porteurs en terre crue avec des fibres de végétale (Bauge)
	41	Parements intérieurs en maçonnerie de briques de terre compressée
	42	Cloison en maçonnerie de briques de terre compressée
	43	Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales (Torchis, Terre allégée)
	44	Enduit mural Int/ext de terre crue ou de chaux et fibres végétales
	45	Enduit mural Int/ext à la chaux et fibres végétales
Pierre	46	Murs doubles avec parement en pierre calcaire NF DTU 20.1
	47	Revêtement de sol Int/ext en pierre calcaire en pose scellée (DTU 52.1) ou collée (DTU 52.2) Revêtement de sol Int/ext en pierre calcaire en pose scellée (DTU 52.1) ou collée (DTU 52.2)
	48	Revêtement mural Int/Ext en pierre calcaire en pose collée (DTU 52.2)
	49	Revêtement mural attaché en pierre mince (DTU 55.2)
	50	Bardage rapporté constitué d'un panneau avec parement de pierre mince
	51	Isolation thermique extérieure avec parement en pierre mince

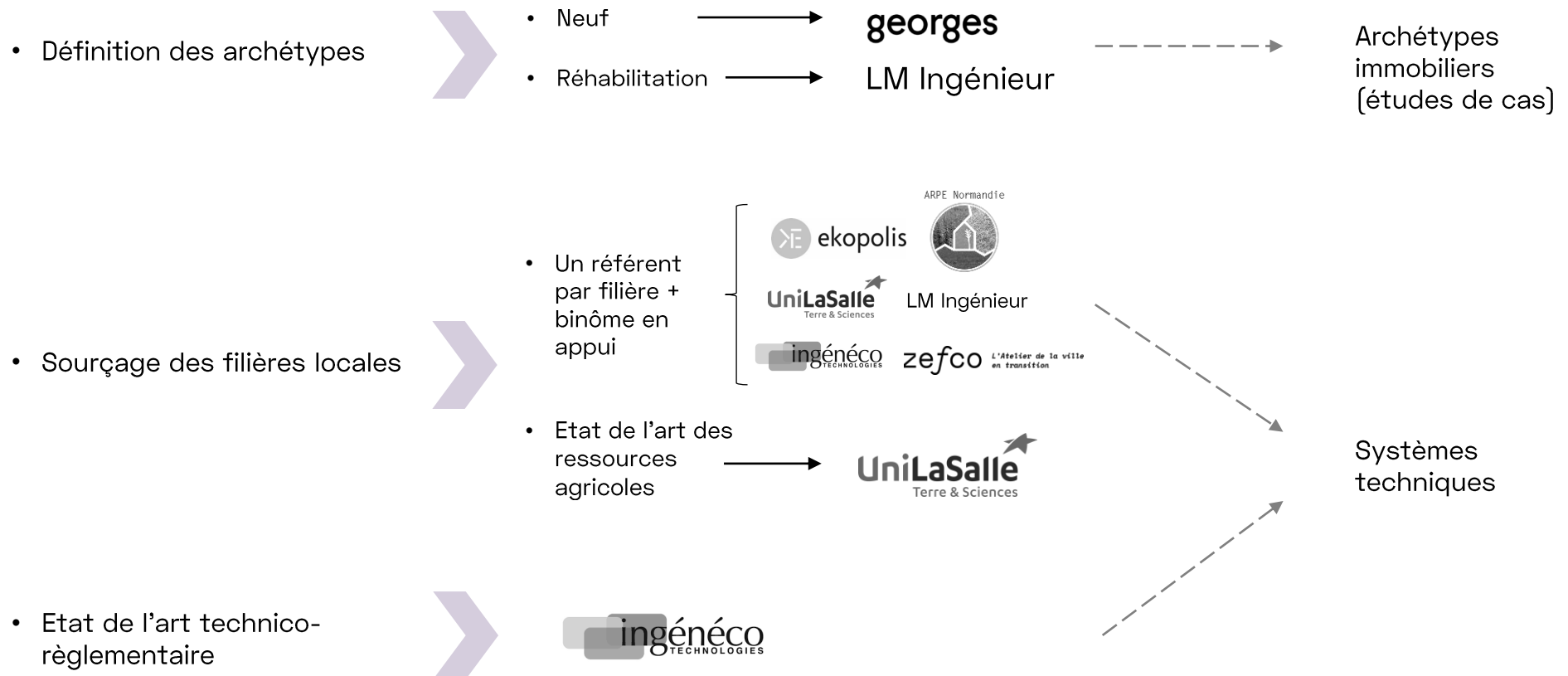
4 • Chaînage avec les étapes suivantes

Calendrier



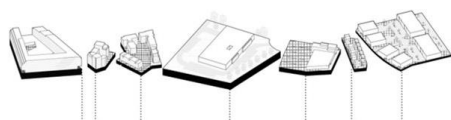
Phase 1 - Sourçage des ressources et de la commande

Vers un bouquet de techniques et d'archétypes immobiliers



Phase 2 - Prototypage

Mobiliser les outils de l'architecte et de l'ingénieur pour expérimenter les hybridations fertiles

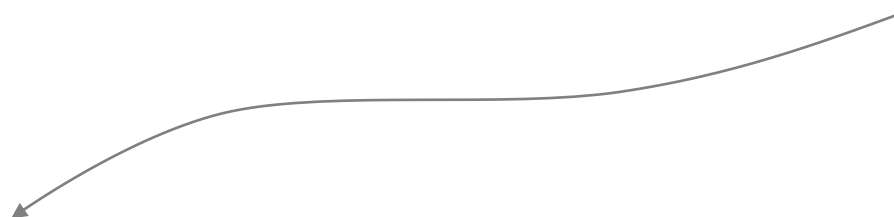


DESSIN des prototypes...

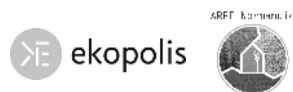


Carnet de détail type par solution et coupes de principes

Prototypage



APPLICATION aux prototypes & ANALYSE...



Impact sur les filières et savoirs-faire locaux, dynamiques territoriales



Plans d'évaluation technique et réglementaire

LM Ingénieur

zefco



Impact climatique