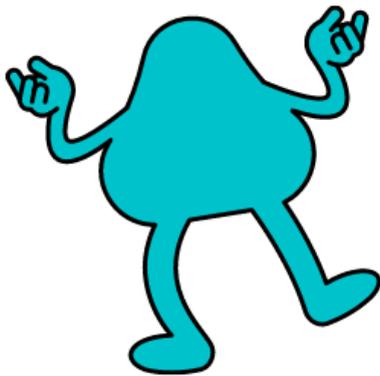
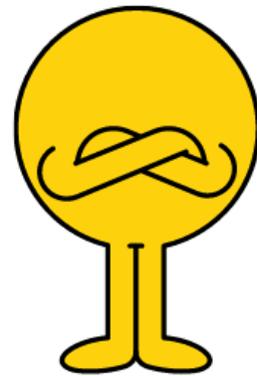


# LIVRET DE RÈGLES

## Jeu Sérieux ERUDITE



Architect



Engineer



# Table des Matières

<b>Principe du Jeu</b>	<b>2</b>
Un Jeu sérieux comme outil collaboratif d'aide à la décision	2
A qui est destiné le jeu ?	2
Déroulement du jeu sérieux	3
<b>Le Matériel</b>	<b>5</b>
Les Jetons	5
Les Cartes	7
Le Plateau	8
Le Journal de Bord	8
<b>Déroulement du jeu</b>	<b>9</b>
Interlude 0 - Les Usages	9
Phase 1 - Bilan des Ressources	11
Interlude 1 - L'Orientation	14
Phase 2 - Détermination des meilleurs scénarios	21
Interlude 2 - La Sécurité	29
Phase 3 - Choix des solutions	30
Interlude 3 - Remise en question	34
Interlude Finale - ACV	34
<b>Conseils et Annexes</b>	<b>35</b>
Exemples et ordres de grandeur pour la compacité	35
Ordre de grandeurs des Sources d'énergies - Émissions CO2	44
Ordre de grandeurs des Moyens de Transports - Émissions CO2	44
Outils Externes	44
<b>L'Équipe de conception du Jeu</b>	<b>46</b>
<b>Mot de la fin / Remerciement</b>	<b>47</b>

# Principe du Jeu

## Un Jeu sérieux comme outil collaboratif d'aide à la décision

Tout d'abord, qu'est ce qu'un jeu sérieux ? Un Jeu sérieux ou Serious Game en Anglais est un outil qui permet d'allier des intentions sérieuses (idéologique, communicationnelle, pédagogique etc....) à un aspect ludique.

Dans notre cas, ce "jeu sérieux" peut être défini comme un outil collaboratif d'aide à la décision sur l'étape d'avant projet. Il a pour objectif d'amener une réflexion autour des problématiques environnementales et des méthodes de construction habituelles mais aussi de favoriser la collaborations entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre.

En effet, pour des phases avancées d'un projet de construction, de nombreux outils ont été mis en place pour faciliter la communication entre les différents acteurs de la maîtrise d'œuvre. Cependant, rien n'existe pour l'étape d'avant-projet ce qui entraîne une perte de temps mais empêche également la remise en question des méthodes de constructions. Finalement, il paraît primordial de mettre en place un outil permettant d'instaurer la collaboration dès l'étape l'avant projet.

## A qui est destiné le jeu ?

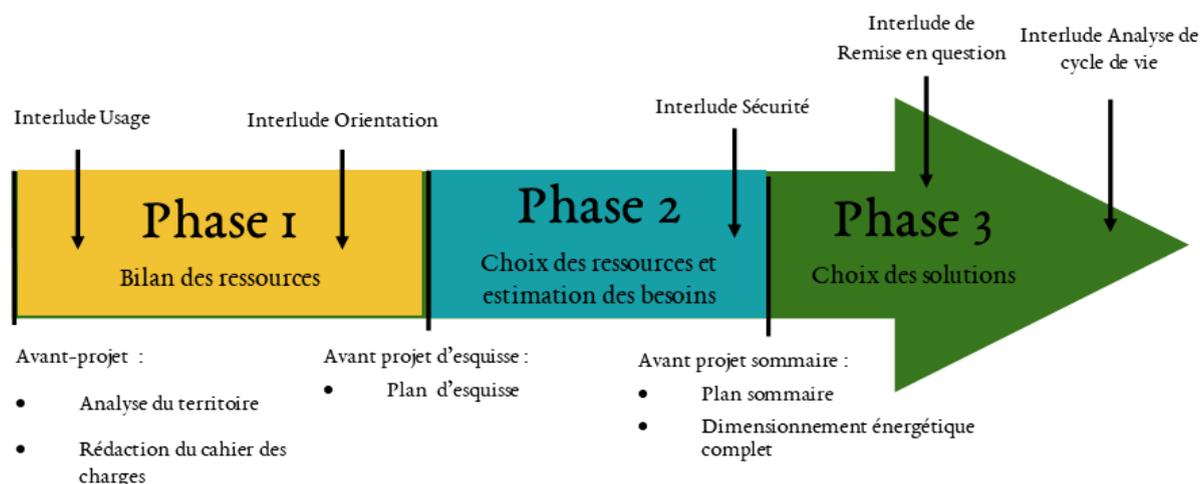
Ce jeu est destiné aux Ingénieurs et aux Architectes représentant deux acteurs primordiaux de la maîtrise d'œuvre. Au cours du jeu d'autres acteurs décisionnaires comme la collectivité ou les clients seront amenés à intervenir mais ce ne sont pas les protagonistes principaux de notre jeu.

Ainsi, nous avons élaboré un jeu destiné à accompagner ces deux corps de métier tout au long de l'étape d'avant projet allant du cahier des charges donné par le client à la réalisation des plans détaillés du bâtiment.

Attention : Ce jeu a été conçu comme un outil d'aide à la décision pour des projets de construction de type bâtiments relativement classique : Maison ou immeubles d'habitations, bureaux, écoles etc.... Il n'est ainsi pas adapté à d'autres types d'ouvrages tels que des hôpitaux, des ponts ou encore des barrages.

## Déroulement du jeu sérieux

Ce jeu sérieux est décomposé en trois phases et cinq interludes afin de permettre aux acteurs de la maîtrise d'œuvre de balayer l'ensemble des questions relatives à l'étape d'avant projet. Les trois phases du jeu correspondent à des étapes différentes de l'avancement de l'avant-projet.



La **phase 1** se situe durant l'avant-projet. Cette phase nécessite que le cahier des charges du projet soit rédigé et que l'analyse du territoire ait été faite au préalable. Il s'agit d'un bilan de ressources durant lequel les joueurs tireront de l'analyse du territoire l'ensemble des ressources énergétiques et matérielles utiles pour un projet de construction et devront les classer selon leur distance avec la localisation du projet et leur abondance.

Durant cette phase auront lieu deux interludes. Une *interlude d'usage* durant laquelle les joueurs incarneront les utilisateurs types du bâtiment et une *interlude d'orientation/implantation*, qui permettra aux joueurs de réfléchir au placement des différents espaces en fonction de l'orientation, de leur usage et de leurs caractéristiques.

La **phase 2** se situe durant l'avant-projet d'esquisse. Elle intervient une fois que les plans d'esquisse de plusieurs scénarios sont terminés. Pendant cette phase, les joueurs devront déterminer le meilleur scénario d'esquisse en fonction de plusieurs critères pour ensuite estimer les besoins approximatifs en énergie et en matériaux. Les ressources pour combler ses besoins seront ensuite choisies sur le plateau de la phase I en fonction de leur Analyse de Cycle de vie et de leur distance par rapport au projet.

Durant cette phase a également lieu l'*interlude Sécurité*, qui permettra aux joueurs de confronter leurs premières répartitions des espaces aux règles de sécurité et de mobilité en vigueur.

La **phase 3** se situe durant l'avant-projet sommaire. Avec l'appui d'un plan sommaire du bâtiment et d'un dimensionnement énergétique complet, les joueurs devront choisir parmi un éventail de possibilités, un

ensemble de solutions techniques pour répondre à toutes les problématiques du bâtiment. Le choix de ces solutions devra tenir en compte des ressources choisies en phase 2 ainsi que leur analyse de cycle de vie.

Cette phase se terminera par deux interludes ; une *interlude de remise en question* qui permettra de confronter la solution finale retenue à un ensemble de problèmes variés, pour en analyser sa robustesse, puis une *interlude d'Analyse de cycle de vie* sur le logiciel Elodie pour faire un bilan global de l'ensemble des impacts environnementaux du bâtiment et ainsi vérifier qu'il respecte bien les contraintes fixées par les normes (RE 2020) et le cahier des charges.

# Le Matériel

Il nous est apparu important de matérialiser les différentes étapes et actions du jeu. En effet, nous pensons que le visuel peut avoir un réel impact sur la créativité et la collaboration entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre. Ainsi disposer de cartes, de plateaux et de jetons peut amener plus facilement à une discussion et à une remise en question des méthodes de construction habituelles. De plus, le matériel sert de schéma directeur au jeu et permet de ne rien oublier et de ne pas laisser des choix au hasard.

## Les Jetons

Il existe 2 types de Jetons :

- ❖ Les jetons matériaux correspondant aux différents matériaux utilisables en construction. Vous disposez de 3 jetons par matériaux de différentes tailles représentant si la ressource est disponible en grande quantité, en quantité moyenne ou en petite quantité



### Liste des jetons matériaux :

- 3 jetons bois
- 3 jetons métaux (Acier/Aluminium/Zinc)
- 3 jetons terre (Pisé/Adobe..)
- 3 jetons ciment
- 6 jetons pierre
- 3 jetons plastique
- 3 jetons plâtre
- 3 jetons verre
- 3 jetons chaux
- 3 jetons maçonnerie (brique parpaing)
- 3 jetons réemploi
- 3 jetons fibre (bois/verre/roche/paille)
- 3 jetons composites (polymères...)
- 3 jetons béton
- 3 jetons profilé acier
- 3 jetons panneaux bois
- 3 jetons terre cuite (brique/tuile...)
- 3 jetons textiles



❖ Les jetons énergies correspondant aux différentes sources d'énergie disponibles. Vous disposez ici également de 3 jetons de différentes tailles par énergie.

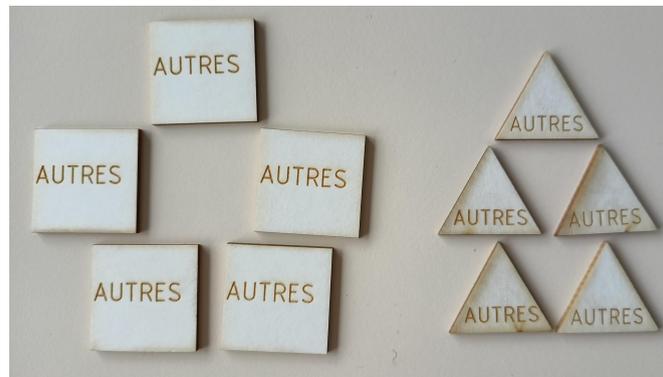
Liste des jetons énergies :

- 3 jetons hydraulique
- 3 jetons soleil
- 3 jetons vent
- 3 jetons géothermie
- 3 jetons biomasse
- 3 jetons électricité (réseau électrique)
- 3 jetons réseau de gaz
- 3 jetons fossile (énergie fossile)
- 3 jetons chaleur (réseau de chaleur)

❖ Parmi ces jetons, 10 jetons "Autres" de taille moyenne sont mis à votre disposition. Ils permettent de choisir de nouveaux matériaux ou énergies non disponibles dans les jetons initiaux.

Liste des jetons autres :

- 5 jetons matériaux
- 5 jetons énergies



Vous avez aussi à disposition un certain nombre de jetons vierges si un matériau devient récurrent dans l'utilisation du jeu.

# Les Cartes

Il existe plusieurs types cartes intervenants dans différentes phases du jeu :

— Ventilation —  
**VMC Simple Flux**

**Description :**  
La VMC simple flux est un dispositif permettant le renouvellement de l'air intérieur. Le fonctionnement d'une VMC simple flux est basé sur un extracteur mécanique. Il est généralement situé dans le grenier et aspire l'air vicié de l'intérieur (humide et pollué) pour faire rentrer de l'air neuf de l'extérieur.

**Caractéristiques :**

		ACV :	
Rendement (%)	70 - 80	Consommation (w)	45
Coût d'installation (€)	650 - 1500	Recyclage	non
Coût du produit (€)	< 150	Durée de vie (années)	20

**Avantages :**

- Bon murcie
- Consommation faible
- Entretien facile

**Inconvénients :**

- Perte de renouvellement d'air dans suppression des fissures de dilatage
- Effet osseux si fixé possible

**Fonctionnement :**  
L'extracteur aspire l'air ce qui crée une dépression dans la maison : l'air de l'extérieur va ainsi rentrer dans la maison grâce aux bouches d'entrée d'air situées dans les pièces principales (salle à manger, salon, chambre, bureau...). L'air extrait par les bouches d'extraction situées dans les pièces de service, c'est-à-dire celles contenant un point d'eau (cuisine, salle de bain, WC, etc.), est ensuite évacué vers l'extérieur via des gaines et une sortie en toiture.



## Les cartes solutions :

Elles correspondent aux solutions du bâtiment pouvant être mises en place à partir de la phase 3 :

- Isolation
- Chauffage
- Ventilation
- Gestion de l'eau

## Les cartes questions :

Au dos de ces cartes, vous trouverez des questions élaborées pour l'interlude 3 : Remise en question. Ces cartes vous permettront de soulever des problèmes que vous ne vous seriez peut-être pas posés.



## Les cartes usages :

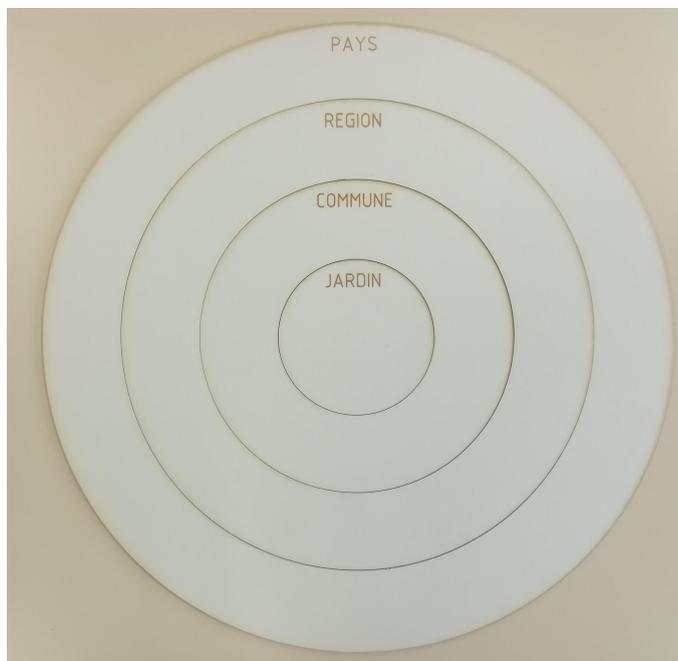
Ces cartes entrent en jeu dès l'interlude 0. Elles vous permettront de questionner les usages du bâtiment.

## Le Plateau

Afin de jouer les différentes phases nous mettons à votre disposition un grand plateau rond :

Ce plateau vous sera utile lors de la **phase 1** mais pourra être réutilisé au cours des différentes phases. Les différents ronds de couleurs représentent les échelles auxquelles sont disponibles les ressources énergétiques ou structurelles.

Rendez-vous page 11 pour comprendre comment utiliser le plateau !



## Le Journal de Bord

### JOURNAL DE BORD - JEU SÉRIEUX ERUDITE



Votre journal de bord est également imprimé au format papier dans la boîte de jeu.

Celui-ci vous accompagnera tout au long du jeu et sera votre plus grand allié pour prendre des décisions. C'est une synthèse de tous vos résultats, alors n'oubliez pas de le compléter !

Vous trouverez le journal de bord en suivant ce lien :

<https://docs.google.com/document/d/1160uFSemKIVtJ2wcPjxC5VWOvUACLqcAH6q667ab6Ho/edit?usp=sharing>

**Vous connaissez maintenant tous les éléments essentiels pour pouvoir vous lancer. Rendez-vous page suivante pour l'interlude 0 : Usages !**

# Déroulement du jeu

## Interlude 0 - Les Usages

### Objectif

L'objectif de cette première interlude est de se mettre dans la peau des futur.e.s usager.e.s du bâtiment afin d'en déduire leurs différents besoins et donc d'adapter le bâtiment en conséquence. Elle se présente sous forme de jeu de rôle. Vous incarnerez des personnages que vous aurez fabriqué au préalable selon plusieurs critères.

### Les joueurs

Dans cet interlude, les client.e.s et la métropole ou la collectivité sont également invités à jouer avec les architectes et les ingénieurs. Ils permettront d'avoir une autre vision des usages et donc de compléter la réflexion.

### Exception

Cette interlude est remplacée par une simple discussion avec les client.e.s lorsqu'il s'agit d'un projet de maison individuelle afin de sonder leurs habitudes de vie, et donc les besoins qui en découlent.

## Déroulement de l'interlude

### Etape 0 - Cahier des charges :

Dans un premier temps, une lecture préalable du cahier des charges est nécessaire afin de pouvoir contextualiser le projet : le terrain disponible, l'usage du bâtiment, les attentes du client.

### Etape 1 - Choix des cartes usages :

Pour chaque critères (Moyen de transport, Tranche de vie, Repas, Statut, Ménages/Familles, Besoins, Fréquence de présence/d'utilisation, Caractéristiques physiques, Flux dans le bâtiment), sélectionnez les options qui correspondent au profil des futur.e.s usager.e.s.

### Etape 2 - Création de personnages :

A l'aide d'une ou plusieurs options sélectionnées pour chaque critère, composez un personnage fictif. Les options que vous choisissez doivent être cohérentes. *Par exemple, un enfant en bas âge ne peut pas conduire une voiture.* Plus vous aurez de personnages différents, plus vous pourrez être complet dans l'analyse des futurs besoins. Chaque joueur doit avoir au moins un personnage.

### **Etape 3 - Jeu de rôle :**

Une fois que chaque joueur a un personnage à incarner, vous devez vous mettre dans la peau de votre personnage et raconter la journée type du personnage. Le fait de vous projeter dans le bâtiment va vous faire vous rendre compte de choses indispensables à mettre en place. *Par exemple, si un.e usager.e vient en vélo au travail, il lui faudra un endroit pour accrocher son vélo et un moyen de se laver sur place.*

### **Etape 4 - Bilan du jeu de rôle dans le journal de bord :**

Inscrivez dans le journal de bord tous les besoins identifiés durant le jeu de rôle.

### **Etape 5 - Graphiques de présence :**

Déterminez les différents “jours types d’occupation” du bâtiment : Quand est-ce qu’il est occupé? Quand est-ce qu’il n’est pas occupé? Quand est-ce qu’il est partiellement occupé?

Pour chaque jour type, faites un graphique de fréquence d’occupation. Ces graphiques pourront vous servir plus tard pour optimiser vos besoins énergétiques.

# Phase 1 - Bilan des Ressources

## Objectif

L'objectif de cette première phase est de faire un bilan global de toutes les ressources disponibles sur le territoire. L'analyse du territoire a permis de relever les différents matériaux et opportunités énergétiques présentes sur le territoire et il faut maintenant les classer en fonction de leur abondance et de leur proximité avec la localisation du projet.

## Déroulement de la phase

Durant ce jeu, le territoire sera symbolisé par un grand plateau rond voir ci-contre. Chaque cercle concentrique correspond à une échelle du territoire ; le *jardin* désigne la parcelle où se situera la construction, la *commune* regroupe à la fois la commune où a lieu le projet ainsi que tous les terrains appartenant à cette commune, forêt, cours d'eau, parc naturel, etc. Le *région* regroupe toutes les ressources présentes globalement dans le région du projet mais non présentes, ou non industrialisées dans la commune. Le *pays* correspond aux ressources globales qui ne sont ni créées ni disponibles à des échelles plus petites. Les réseaux liés à aux services élémentaires, gaz, électricité en feront partie.



A l'aide de l'analyse du territoire, vous devez placer les jetons ressources matériaux et énergie aux bonnes échelles sur le grand plateau rond. Il y a trois tailles de jetons, ce qui correspond aux quantités disponibles. C'est à vous d'assigner la quantité correspondant à chaque taille suivant l'envergure de votre projet. Des jetons *Autres* sont disponibles, ils vous permettent d'inclure une ressource "non conventionnelle" à votre projet (skis, briques en plastique, en liège, en textile recyclé, conteneur,...)

### Comment placer les jetons ?

#### *Précision sur les Matériaux :*

Dans ce jeu nous ne considérerons que deux types de matériaux ; les matériaux bruts et les matériaux transformés. Les matériaux bruts sont des matériaux que l'on peut trouver à l'état naturel. Même si ces matériaux nécessitent d'être travaillés (coupe, taillage), il s'agit toujours des matériaux bruts. Les matériaux transformés sont des matériaux issus du mélange de plusieurs autres matériaux ou par fontes ou cuisson d'un autre.

Dans la plupart des situations, **les matériaux sont industrialisés et vendus par des entreprises tierces** :

Pour un **matériau brut**, il faut considérer les lieux où les matériaux sont travaillés ou transformés ; passer d'un matériau brut à un matériau utilisable pour la construction. Dans votre analyse du territoire, il est donc impératif que vous teniez compte du lieu où sont transformées les ressources.

*ex : Si le projet se situe dans une zone forestière ou le bois est à profusion mais que la scierie la plus proche se trouve à 40 km, ce sont ces 40 km qui devront être retenus.*

Pour un **matériau transformé**, il faut considérer le lieu où il est produit, une cimenterie pour du ciment, une verrerie pour du verre. Si les ressources brutes du matériaux et l'industrie pour le transformer sont présentes à la même échelle, le coût environnemental de ce matériau sera plus faible.

**Si le matériau est usiné sur le site du projet** : Il ne faut considérer que l'emplacement des ressources brutes dans le milieu naturel et le lieu d'industrialisation pour les ressources transformées.

### *Précision sur les Énergies :*

Pour les énergies, il faut s'intéresser au lieu de production de l'énergie ou au lieu d'extraction de la matière première qui crée cette énergie.

- Étape 1 : Les **ressources accessibles partout** (vent, soleil, parfois géothermie,...). Il faut considérer l'échelle du jardin.
- Étape 2 : Etudier le mix énergétique à l'échelle la plus petite possible, quoi qu'il en soit, le **réseau électrique** est placé à l'échelle nationale. Toutefois, avoir une idée du mix énergétique du département/de la région permettra aux usagers d'adapter leur consommation.

*ex : Si une centrale hydroélectrique est présente à l'échelle communale, il peut être intéressant de considérer que la ressource "hydraulique" est présente à l'échelle de la commune et que l'électricité du bâtiment proviendra majoritairement de l'énergie hydraulique.*

- Étape 3 : Recenser les ressources potentielles de chauffage sur l'ensemble des échelles. Pour les **énergies à base de combustibles**, que ce soit pour de la production de chaleur, il faut prendre en compte le lieu d'extraction du combustible. Pour des combustibles fossiles, il s'agit très souvent de l'échelle nationale, sauf s'il existe d'un point d'extraction local de cette ressource. Pour les **réseaux de chaleur**, se référer au lieu de production de chaleur (respectivement de froid) du circuit. Les réseaux de chaleur se résument généralement à une échelle communale.

### Comment quantifier les jetons ?

Pour quantifier l'importance d'une ressource il faut prendre en compte plusieurs paramètres :

Pour les matériaux, il faut regarder la capacité de production des industries. Si la ressource concernée est accessible uniquement à une plus grande échelle, on peut considérer que les capacités de production sont largement supérieures aux besoins du projet.

Pour les énergies, il faut regarder l'opportunité de la source d'énergie considérée (cf. [Outils externes](#) p.44). Pour les réseaux ou les ressources disponibles à l'échelle nationale on peut supposer que la disponibilité est largement supérieure au besoin du bâtiment, sauf pour des projets de très grosses ampleurs.

### *Existe-t-il une ressource non conventionnelle sur ce territoire ?*

Avant de clore cette première phase, il est également important d'identifier à l'aide de l'analyse de territoire tous les risques naturels que pourrait encourir le bâtiment. De ces risques pourraient émaner des contraintes supplémentaires qui affecteraient les prochaines phases.

Commencez par répertorier tous les risques présents sur le territoire à l'aide d'outils comme QGIS, Géoportail ou InfoTerre. (cf. [Outils externes](#) p.44). Pensez ensuite à prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité de votre bâtiment.

## Ouverture vers la phase 2

Vous avez désormais sous les yeux le résultat de votre analyse de territoire. Aux vues des jetons que vous avez placés, quelle(s) combinaison(s) de ressources vous semblerait-il intéressant d'adopter pour la suite du projet ?

## Résultats (journal de bord)

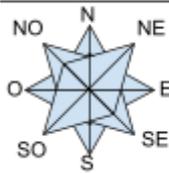
C'est la fin de la première phase, bravo ! N'oubliez pas de reporter vos remarques et résultats dans le journal bord ! On se retrouve bientôt pour réfléchir à l'orientation des pièces et du bâtiment.

# Interlude 1 - L'Orientation

Ce deuxième interlude se concentre sur l'orientation et les usages. L'objectif de cet interlude est de créer un placement approximatif des différents espaces du bâtiment en prenant compte des paramètres, d'orientation, de luminosité et de thermique.

L'ensemble de cet interlude se fait sur un tableau blanc ou à craie.

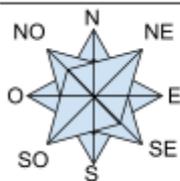
1. Positionner dans un coin de l'espace de travail une rose des vents orientée :



---

Tableau blanc

2. Tracer la forme du cadastre. Une échelle de dimensionnement n'est pas nécessaire mais peut-être un plus. La zone de construction désigne l'ensemble de la zone où se situe le projet, le(s) bâtiment(s) et les espaces verts ou à artificialiser.

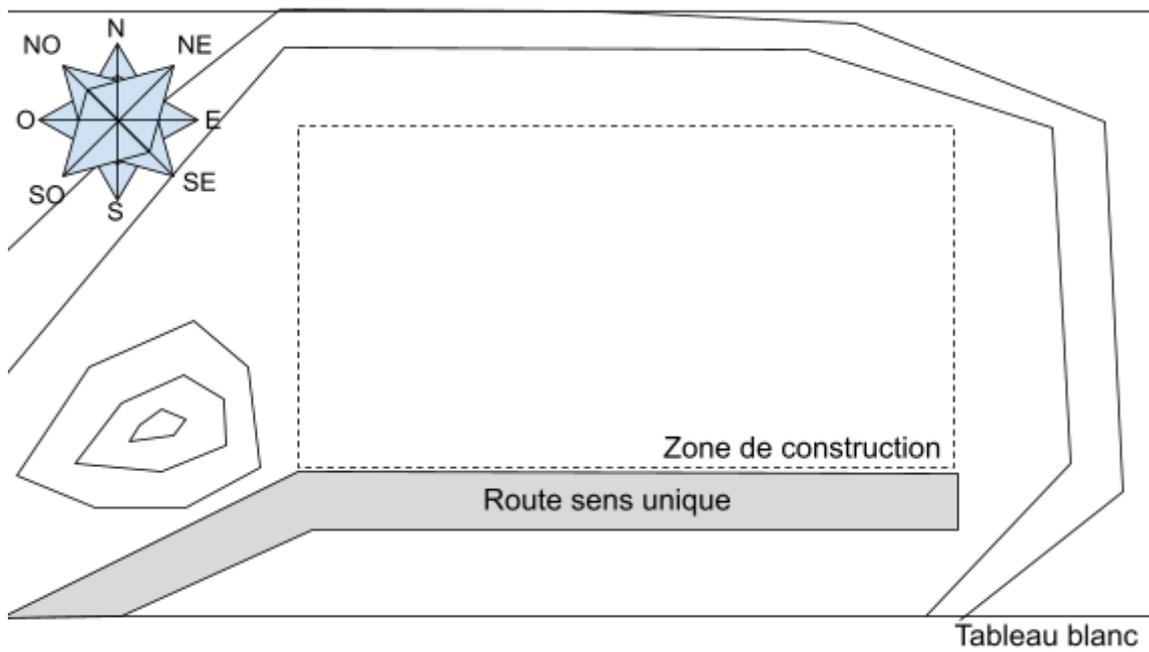


Zone de construction

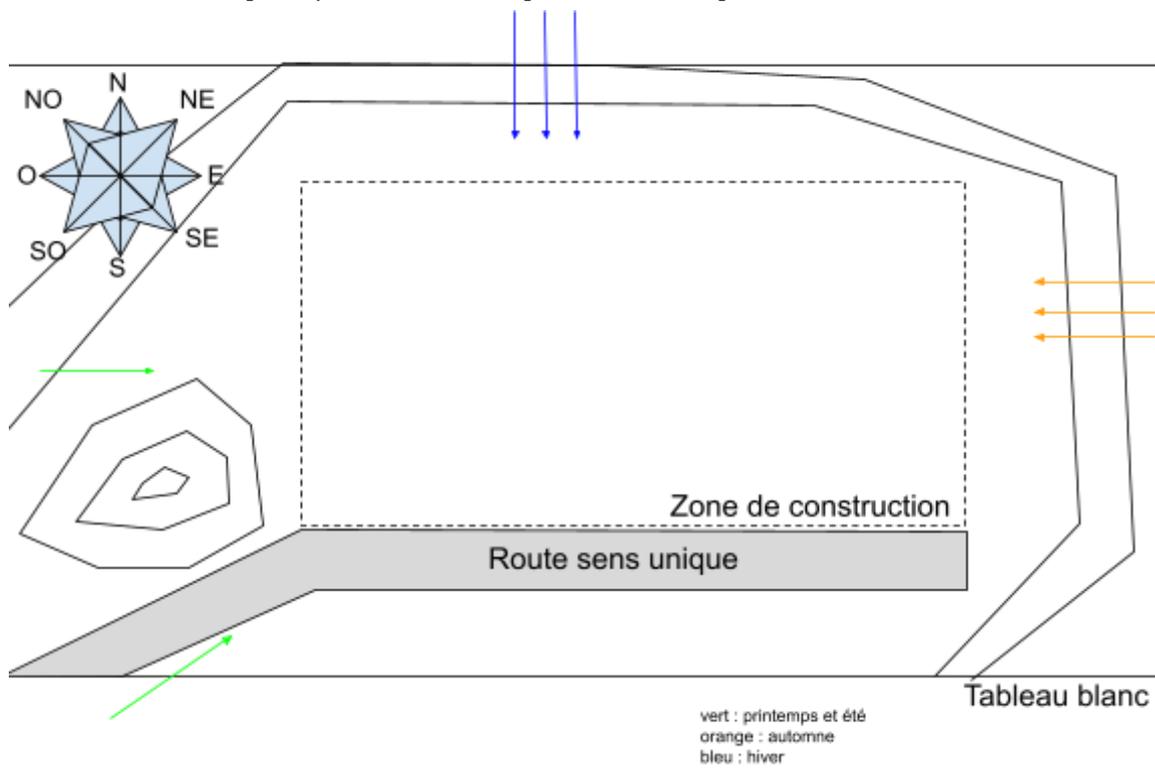
---

Tableau blanc

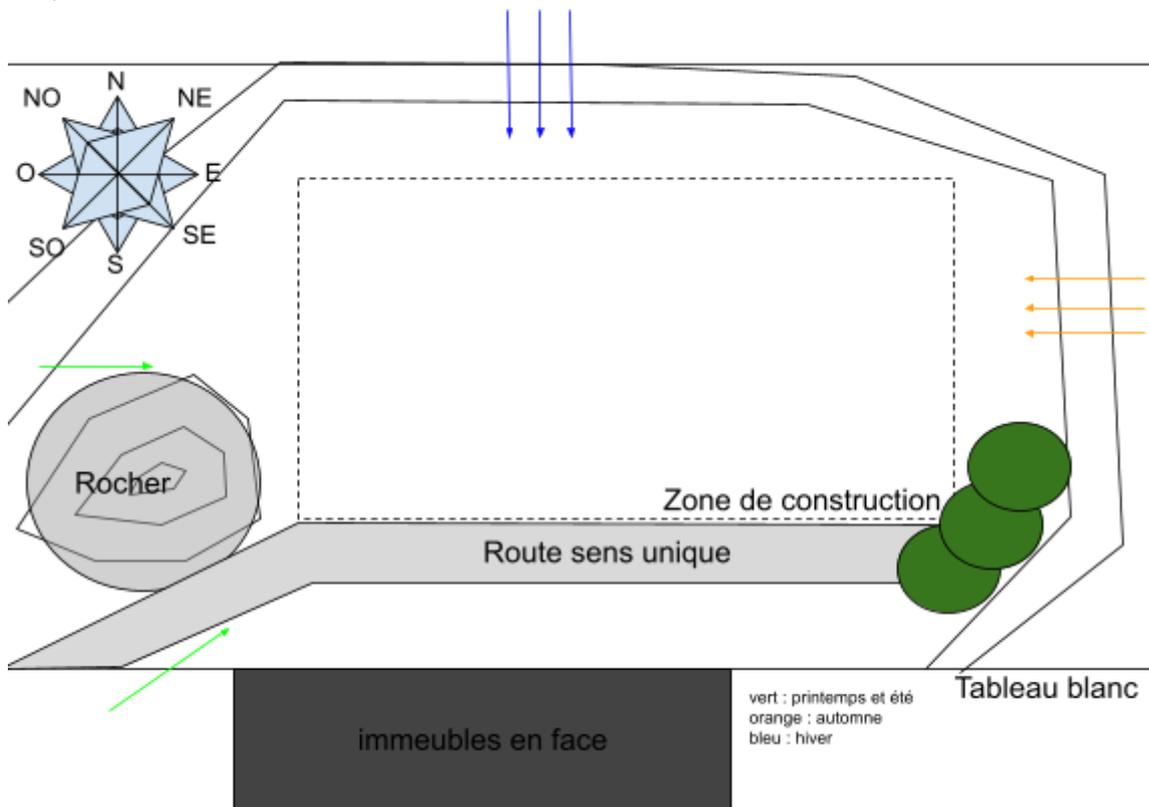
3. Indiquer les voiries menant à l'emplacement et les gradients d'altitudes si nécessaire :



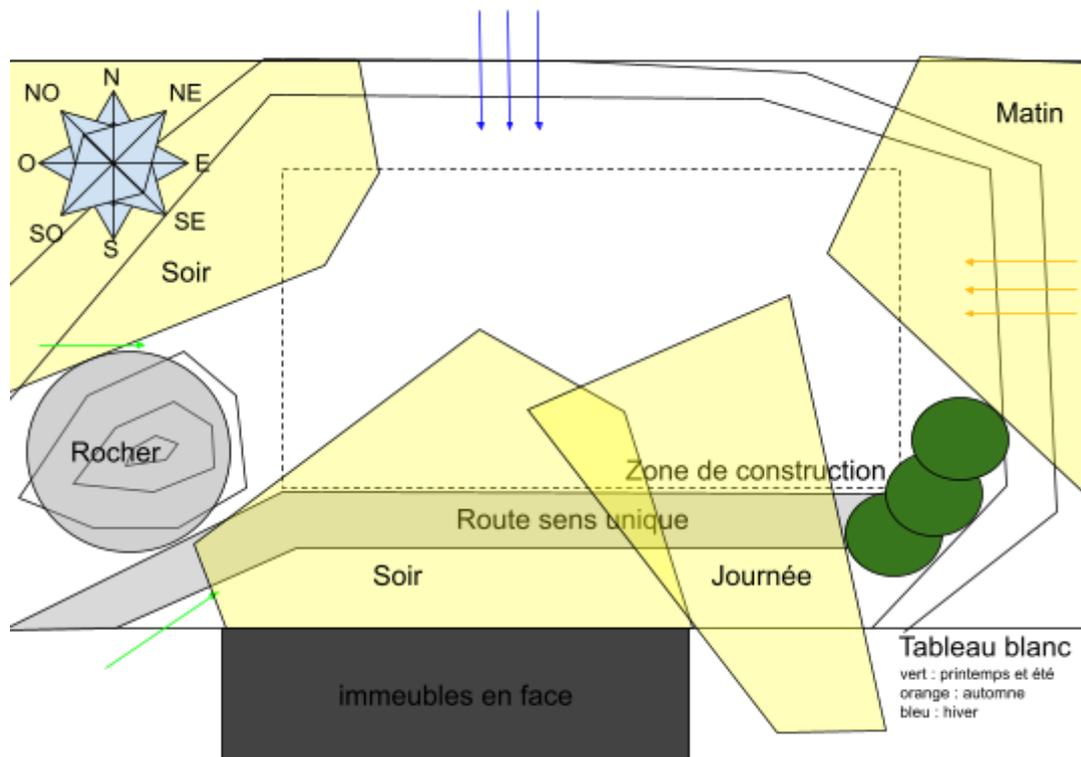
4. Tracer les couloirs de vents, associer une couleur à chaque saison si nécessaire et jouer sur le nombre ou la taille des flèches pour symboliser un vent plus ou moins important.



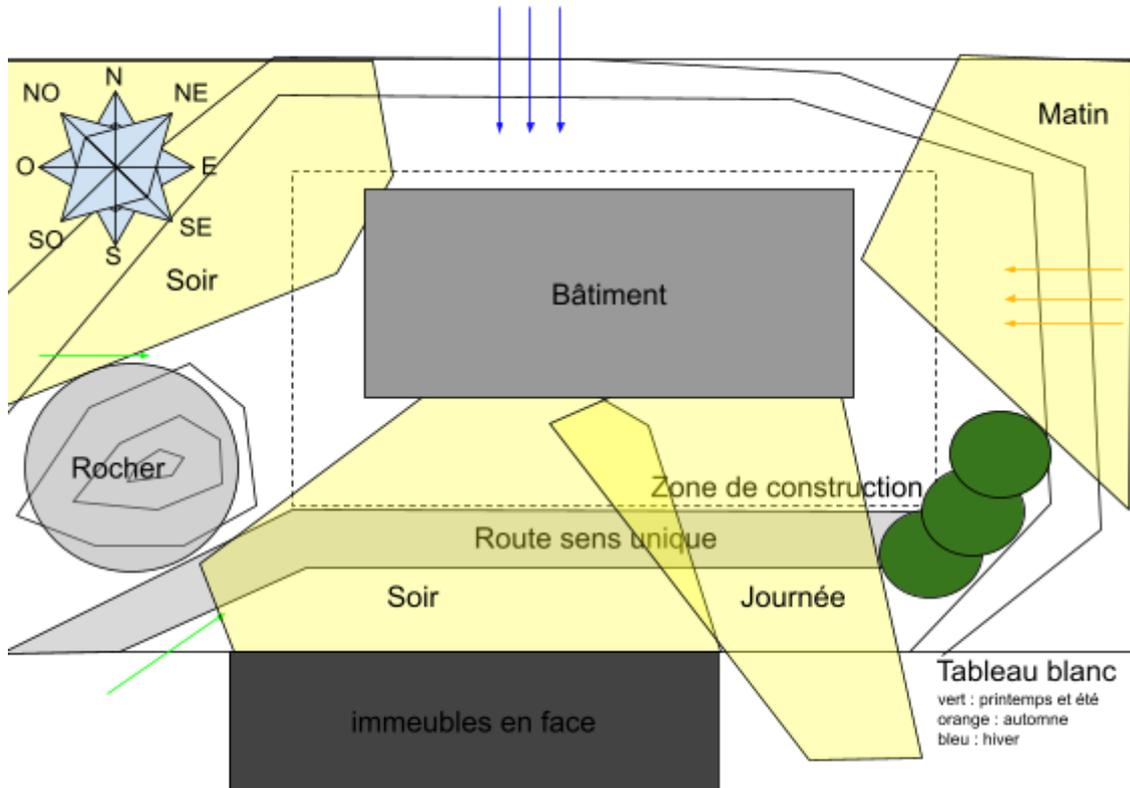
5. Ajouter les caches (arbres, massifs, autres bâtiments etc..) :



6. Tracer les zones de la parcelle les mieux éclairées, préciser les périodes de la journée :



7. Placer le bâtiment sur la parcelle. Il faut penser à l'orientation et l'implantation du bâtiment, il doit pouvoir être le mieux éclairé possible, respecter le PLU, être à l'abri des courants d'air froid hivernal, etc.



**A partir de cette étape, il est beaucoup plus intéressant de travailler sur plusieurs scénarios**, qui seront ensuite traités dans les phases suivantes. Chacun des scénarios proposés pourra exprimer une intention particulière ; être confortable, être le plus efficace thermiquement, être le plus compact possible, etc.

8. Lister les différents types de zones que contiendra le bâtiment. Puis classer en fonction des différents archétypes de zones ci-dessus.

<i>Types d'archétypes</i>		
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Exemple</i>
Zone de chaleur	Zone générant de la chaleur	Chaudière, laverie, cuisine, sauna, salle de serveur
Zone de froid	Zone générant du froid	Pièce réfrigérée, cave à vins

Zone de vie	Zone utilisée quelques soit l'heure de la journée ou la saison	Salon, cuisine, hall d'entreprise
Zone de nuit	Zone utilisée essentiellement la nuit	Chambre, dortoir
Zone de jour	Zone utilisée essentiellement la journée	Open space, cantine, salle de réunion
Zone ponctuelle	Zone utilisée ponctuellement	Salle de bains, salle des archives, salle de stockage
Zone de passage	Zone reliant d'autres zones entres-elles	Couloir, escalier, hall d'entrée
Zone humide	Zone générant de l'humidité ambiante	Salle de bain, laverie, cuisine, chaufferie
Zone bruyante	Zone générant du bruit	Cuisine, réfectoire, laverie, salle de sport, salle d'enregistrement
Zone de maintenance	Zone exclusivement destinée à la maintenance	Local technique, chaufferie
Zone saisonnière	Zone utilisée majoritairement à une époque de l'année précise	Piscine couverte, véranda, toit terrasse
Zone calme	Zone nécessitant du calme	Bibliothèque, dortoir, chambre, salle d'enregistrement

Une espace précis peut prétendre à plusieurs archétypes, mais tous ces archétypes n'ont pas forcément la même importance selon la situation.

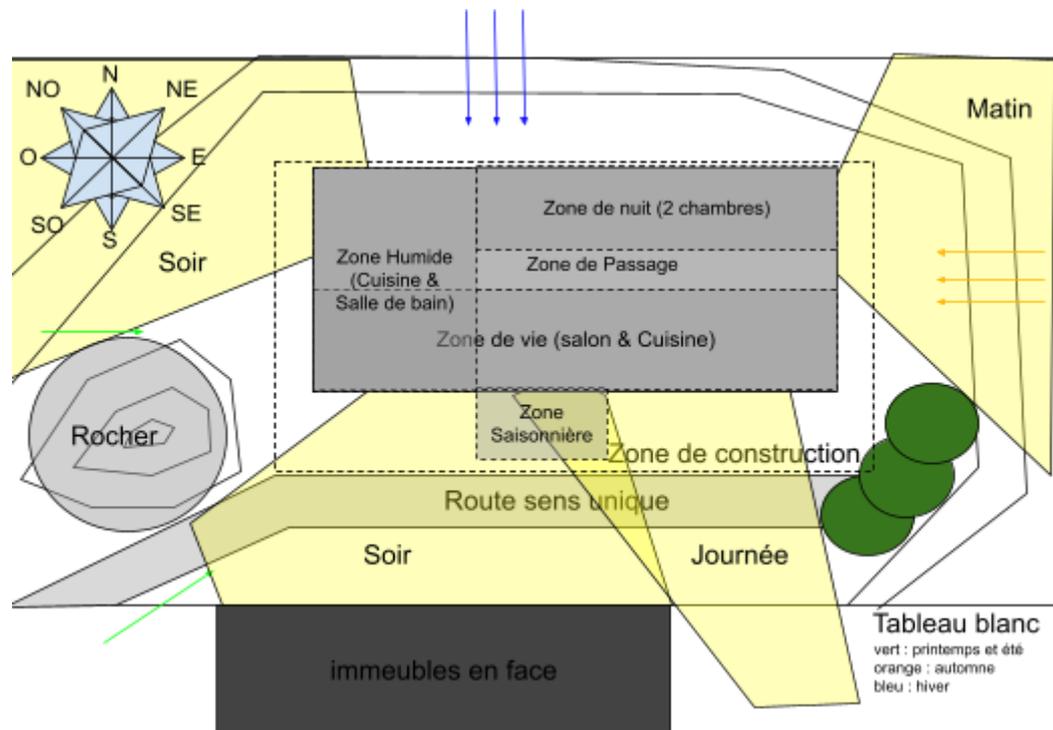
9. Pour chacun des scénarios imaginés en étape 7. Positionner approximativement les différentes zones du bâtiment en tenant compte des critères correspondant et des arrivées de lumière, de vents et des températures annuelles.

Même s'il s'agit usuellement d'une étape plutôt faite par les architectes, le regard d'un **ingénieur thermique** est extrêmement important pour confronter les enjeux thermiques aux habitudes d'architecture.

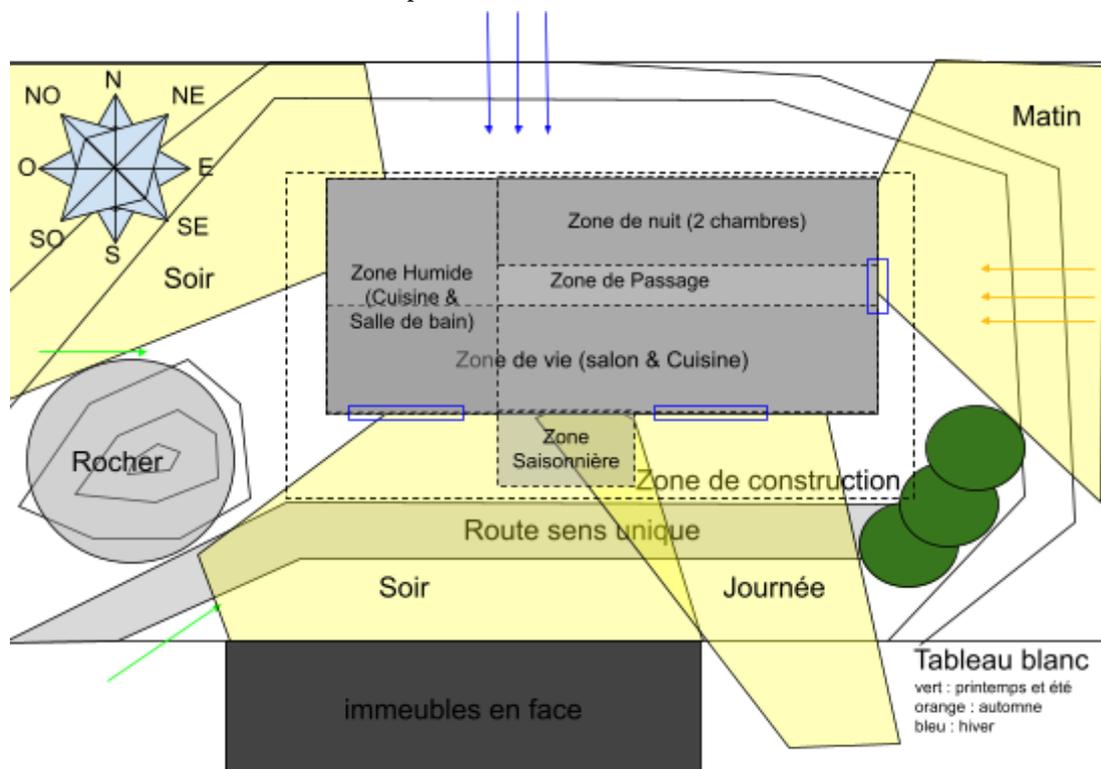
Quelques conseils de placement :

- Deux zones prétendant à des archétypes contraires doivent être éloignées, pour réduire les besoins d'isolation entre ces deux espaces. Par exemple, si une pièce froide est à côté d'une pièce chaude, le flux de chaleur du chaud vers le froid obligera à produire plus de froid pour compenser. De même, la perte de chaleur côté chaud obligera à chauffer plus.
- Les zones de nuit, ponctuelle ou de maintenance n'ont pas besoin d'un éclairage naturelle important, elles peuvent donc être placées sur des faces peut exposer.
- Des pièces peu utilisées au quotidien peuvent être moins chauffées (resp. refroidies) et donc placer à côté de pièces chaudes ou froides.

- Des pièces d'été (resp. d'hiver) peuvent être positionnées à côté de pièces naturellement froides (resp. chaudes) pour effectuer du refroidissement indirect.



10. Placer les ouvertures. Ce placement pourra également faire l'objet d'une réflexion sur la thermique du bâtiment et sur l'ensoleillement des pièces.



L'ensemble des scénarios considérés au terme de cette interlude, devront être retravaillés dans des plans sommaires davantage détaillés pour être utilisés en phase 2.

## Fin de la phase 1 et de ses interludes

Vous êtes maintenant arrivés au terme de la phase 1 et de ses interludes, mais avant de commencer la phase 2, il est important de présenter vos résultats aux clients. Il s'agira ici d'instaurer une discussion autour des différentes ressources locales et revenir sur le cahier des charges à la lumière de ces nouvelles informations.

## Phase 2 - Détermination des meilleurs scénarios

### Objectif

L'objectif de cette deuxième phase est de définir les besoins énergétiques, structurels et d'isolations de différents scénarios du projet, puis de faire des combinaisons avec les ressources disponibles et à terme voir quels sont les scénarios les plus performants.

#### Critères de performances :

- Compacité : rapport entre surface de parois et surface habitable
- Analyse de Cycle de vie : nous nous focaliserons sur l'énergie nécessaire à la production de la ressource et le rejet de CO2 associé
- La RE 2020 doit être validée

### Déroulement de la phase

#### Étape 1 - Compacité, efficacité volumétrique et rapport Volume-surface :

Pour déterminer les besoins en matériaux, il faut d'abord calculer leur compacité pour évaluer leur performance.

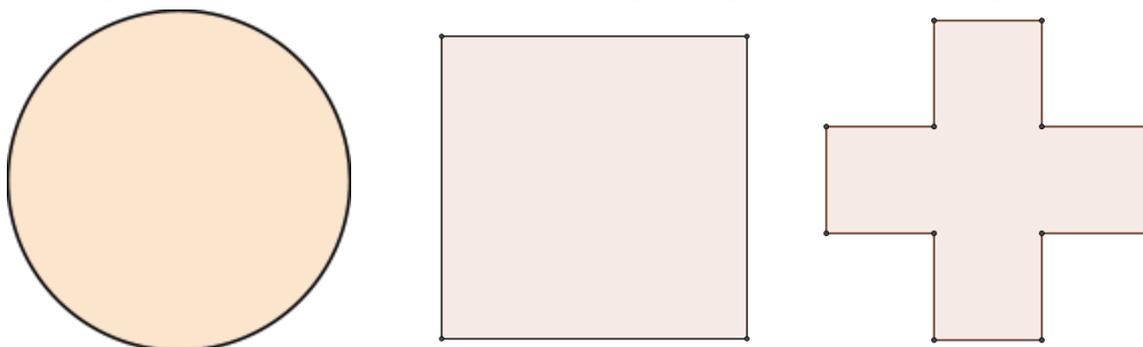
La compacité surfacique peut être définie par :  $C = \frac{\text{Surface des parois extérieures}}{\text{Surface habitable}}$

La compacité permet d'évaluer si un bâtiment demande peu ou beaucoup de ressources pour une surface donnée. Plus la compacité est grande et plus les besoins en matériaux et en énergies sont importants, il faut donc que cet indicateur soit le plus proche de 1 possible.

A titre d'exemple la compacité d'un cube est de 5 alors que la compacité d'une demi-sphère est de 2.22.

L'un des premiers leviers pour agir sur la compacité et le *périmètre* du plan au sol. Plus le périmètre est grand et moins le bâtiment final sera compact.

*Sur cet exemple, on peut voir que le cercle et le carré sont bien plus compacts que le + à surface égale.*



$$P = 37 \text{ m}$$

$$P = 42.5 \text{ m}$$

$$P = 56 \text{ m}$$

Le second levier de la compacité est sur la *mise en volume* du bâtiment. Il s'agit ici de trouver un compromis entre une petite compacité et un grand volume intérieur.

Pour déterminer l'efficacité d'un volume, on utilise deux critères de performance. L'efficacité volumique et le rapport volume/surface.

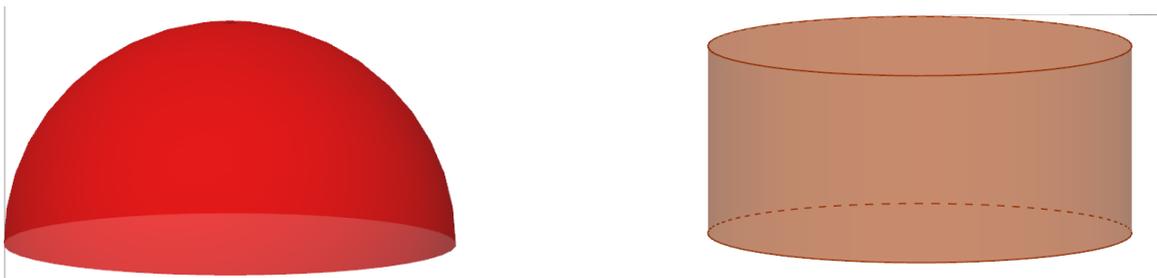
$$\text{Efficacité volumique : } v = \frac{\text{Volume Utilisable}}{\text{Volume Intérieur}}$$

L'efficacité volumique permet de mesurer la part de volume utilisable, ici l'ensemble de l'espace en dessous 3 m, par rapport à l'ensemble du volume intérieur. Cette efficacité volumique doit être la plus proche de 1 possible car tout espace inutilisable nécessite quand même des matériaux pour être construit et de l'énergie pour être chauffé. Pour des formes droites comme le carré ou le cylindre, cet efficacité sera toujours égale 1, mais pour des formes plus compactes, comme le cône ou la pyramide, cet indicateur peut être plus faible, de l'ordre de 85%-90%.

$$\text{Rapport Volume-Surface : } \eta = \frac{\text{Volume utilisable}}{\text{Surface habitable}}$$

Le rapport Volume-Surface permet de quantifier le volume moyen dont on peut bénéficier pour 1 m<sup>2</sup> de surface habitable. Il s'agit ici d'un indicateur pour déterminer si un volume est viable pour un usager ; si ce rapport est égal à 1.50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, cela signifie qu'en moyenne une personne ne pourra pas se tenir debout. A contrario, si cet indicateur est supérieur à 3, cela signifie qu'il y a plus d'espaces que nécessaire.

Exemple pour l'igloo et la tour pour une surface au sol de 100 m<sup>2</sup> (le rayon au sol est de 5.64 m)



	Igloo	Tour
Surface de parois extérieur	222 m <sup>2</sup>	223 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	376 m <sup>3</sup>	300 m <sup>3</sup>
Compacité	2.22	2.23
Volume utile	271 m <sup>3</sup>	300 m <sup>3</sup>

Efficacité Volumique	0.91	1.00
Rapport Volume/Surface	2.71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Pour cet exemple, on peut voir que les deux solides ont la même compacité, mais en termes de volume, la tour s'avère plus performante car son volume utile est plus important et ne génère aucune perte d'espace. Pour une telle surface, il serait donc plus intéressant d'opter pour une tour.

Un bon bâtiment doit donc être le meilleur compromis entre ces trois critères.

Pour plus de précisions et d'exemples, aller à la p.35 ([Exemples et ordres de grandeur pour la compacité](#))

### **Etape 2 - Analyse de la météo :**

Afin de dimensionner les besoins énergétiques du bâtiment et de connaître plus précisément le climat de la zone concernée, vous commencez par dresser une analyse de la météo locale. Pour chaque mois de l'année vous aurez besoin de la température minimale, de la température maximale et de la température souhaitée à l'intérieur du bâtiment.

	Janvier	Février	...	Décembre
T° min				
T° max				
T° int souhaitée				

### **Etape 3 - détermination des besoins énergétiques de chaque scénario & RE :**

Les besoins à déterminer sont de différents types :

- besoin en isolation : estimation
- besoins énergétiques : besoin chauffage, besoin climatisation, besoin électricité à remplir avec les jetons énergie précédemment placés
- besoins de renouvellement d'air et de ventilation
- besoins en électricité

Besoins en isolation : Dans un premier temps, nous allons seulement faire une estimation grossière de l'épaisseur de l'isolation qui nous servira pour les calculs des autres besoins énergétiques. Pour ce faire, vous pouvez utiliser l'Excel "calcul-resistance-thermique" :

([https://drive.google.com/file/d/1XzEz2ECoWU\\_0MpCoJk-tLrajS5rj2ToE/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1XzEz2ECoWU_0MpCoJk-tLrajS5rj2ToE/view?usp=sharing)).

Vous pouvez faire la simulation pour chacun de vos scénarios. Pour le choix de l'isolation, prenez un matériau typique, sauf si vous avez déjà une idée du matériau que vous allez utiliser. L'important ici est d'avoir un ordre de grandeur, donc le choix du matériau d'isolation n'a pas une grande importance pour l'instant.

Une fois les matériaux de la paroi entrés dans l'Excel, vous avez un résultat pour la résistance thermique R de la paroi et le coefficient global de chaleur U. Confrontez ces résultats à la RE 2020, pour vous donnez une idée, la RT 2012 fixait un U maximal de 0,2 W/m<sup>2</sup>/K, il est de 0,15 W/m<sup>2</sup>/K pour une maison passive.

→ La RE 2020 n'ayant pas encore été adoptée ni mise en application au moment de la rédaction de ce livret, nous ne pouvons fournir de formulaire précis. Notre jeu devra faire l'objet d'une réécriture ultérieure pour correspondre au mieux aux nouvelles normes.

Besoins en chauffage et en climatisation : Grâce à l'analyse de la météo du territoire et la première estimation de l'isolation, on peut en déduire les besoins énergétiques du bâtiment au niveau du chauffage et de la climatisation. La méthode est la suivante :

- Détermination des DJU :

heating (from october 1st to may 20th):

*t° souhaitée à l'intérieur* (circled in red)

$$\begin{cases} T_{ref} \leq T_{min}(d) & DJU = 0 \\ T_{min}(d) < T_{ref} \leq T_{max}(d) & DJU = (T_{ref} - T_{min}(d)) \left( 0.08 + 0.42 \frac{T_{ref} - T_{min}(d)}{T_{max}(d) - T_{min}(d)} \right) \\ T_{ref} > T_{max}(d) & DJU = T_{ref} - \frac{T_{min}(d) + T_{max}(d)}{2} \end{cases}$$

*t° min du mois* (circled in green)

*t° max du mois* (circled in red)

cooling (from may 20th to october 1st):

$$\begin{cases} T_{ref} \leq T_{min}(d), & DJU = T_{ref} - \frac{T_{min}(d) + T_{max}(d)}{2} \\ T_{min}(d) < T_{ref} \leq T_{max}(d), & DJU = (T_{max}(d) - T_{ref}) \left( 0.08 + 0.42 \frac{T_{max}(d) - T_{ref}}{T_{max}(d) - T_{min}(d)} \right) \\ T_{ref} > T_{max}(d), & DJU = 0 \end{cases}$$

Remplir le tableau des DJU pour les différents mois sur le journal de bord.

- La valeur du coefficient global de chaleur U est donnée dans l'Excel qu'on a utilisé précédemment, il vous servira dans les calculs.

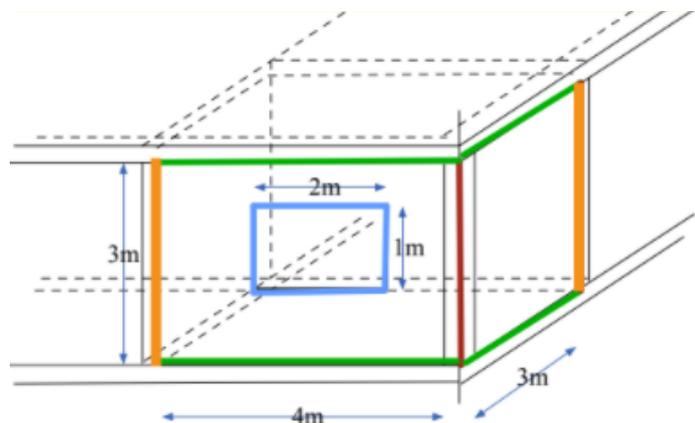
- Définition des ponts thermiques :

Mur/mur

Mur/dalle

Mur/menuiseries

Mur/mur interne



- Recalculez U en prenant en compte les pertes au niveau des ponts thermiques (à partir de la surface et des coefficients donnés dans le fascicule 5 des règles Th-U sur les ponts thermiques : <https://drive.google.com/file/d/19i3UVyShVnF-BjleMQ1zWdCjreo6WSlq/view?usp=sharing>), vous pourrez ensuite en déduire les pertes totales en comparant les deux U.

- Calculez ensuite le flux d'énergie en kWh/m<sup>2</sup>/an avec ce nouveau U : 
$$\phi = \frac{U_{bat}}{1000} \times 24 \times \sum_{i=mois} DJU$$
- En déduire ensuite l'énergie requise pour le chauffage et la climatisation pour une année.

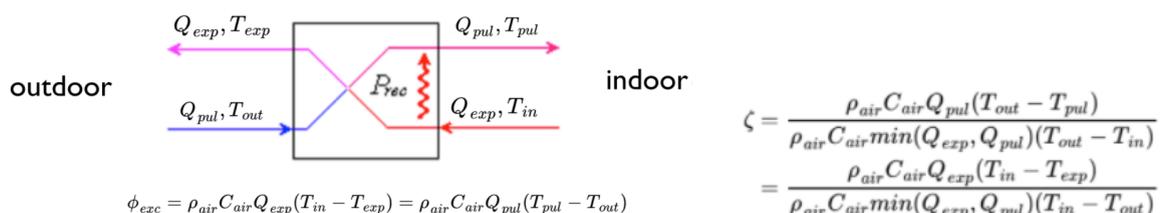
Besoins en renouvellement d'air et ventilation : Le renouvellement de l'air et donc la ventilation sont des notions très importantes qui touchent à la santé des usagers. Vous allez calculer l'énergie nécessaire pour une ventilation efficace :

- Renouvellement de l'air :
  - Définir la production de CO<sub>2</sub> dans la pièce en fonction du temps (humains, machines, produits chimiques, ...)
  - Trouver le débit de ventilation Q<sub>vent</sub> en volume/h grâce à un bilan de matière :

$$V \frac{dC_i}{dt} = Q_{vent} C_e - Q_{vent} C_i + \text{Prod}_{CO_2}$$

*volume de la pièce [m<sup>3</sup>]* (green arrow pointing to V)  
*Concentration extérieure de CO<sub>2</sub> [ppm]* (purple arrow pointing to C<sub>e</sub>)  
*Concentration intérieure de CO<sub>2</sub> [ppm]* (blue arrow pointing to C<sub>i</sub>)  
*[ppm.m<sup>3</sup>/s]* (orange arrow pointing to Prod<sub>CO<sub>2</sub></sub>)

- Système de ventilation : en se basant sur un échangeur de chaleur air-air :
  - Calcul du flux de chaleur :



$$\Delta\phi = \rho_{air} C_{air} (Q_{pul} T_{pul} - Q_{exp} T_{in})$$

→ (if  $Q_{pul} = Q_{exp} = Q$ )

$$\Delta\phi = (1 - \zeta) \rho_{air} C_{air} Q (T_{out} - T_{in})$$

- En ajoutant les flux du chauffage/climatisation et de la ventilation, vous pourrez en déduire l'énergie nécessaire :

$$\phi_{kwh/m^2 \cdot year} = (U_{bat} S + (1 - \zeta) \rho_{air} c_{p,air} Q_{air}) * \frac{24}{1000} (DJU_{november} + \dots + DJU_{april})$$

avec

$$Q_{\text{air}} = \frac{\text{Nb de renouvellement} \times \text{Surface}}{3600} \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

↗ [vol/h]      ↖ [m²]

Besoins en électricité : Faire une estimation des besoins en électricité en prenant en compte l'éclairage et l'électroménager, et toutes les autres machines qui utilisent de l'électricité (voitures, ordinateurs, ...).

Pour aller plus loin : D'autres critères énergétiques aident à définir le besoin du bâtiment tels que l'apport solaire (chaleur + lumière), l'inertie des matériaux des parois, les usages du bâtiment (notamment au niveau de l'occupation fait dans l'interlude usage qui produit de l'énergie interne). Pour être plus précis vous pouvez également étudier ces critères là pour avoir une besoin énergétique plus proche de la réalité.

La RE2020 est à prendre en compte dès cette phase car elle fixe des critères à respecter et qui vont contraindre nos choix. Vous devez vérifier dès maintenant les critères qui peuvent l'être :

- Le besoin bioclimatique Bbio
  - Pistes pour l'améliorer : jouer sur isolation thermique, perméabilité du bâtiment à l'air, éclairage naturel du bâtiment.
- Une consommation chauffage inférieure à 12 kWh/m²/an
- Confort en été
- Une consommation totale d'énergie primaire (Cep) inférieure à 100 kWh/m²/an, 90 kWh/m²/an pour maison individuelle, 97 kWh/m²/an pour logement collectif
- Une consommation en énergies fossiles : Logement collectif : d'abord 14 kgCO<sub>2</sub>/m²/an, puis 6 kgCO<sub>2</sub>/m²/an (Solutions hybrides possibles). Maison individuelle : 4 kgCO<sub>2</sub>/m²/an

Si un des scénarios ne vérifient pas les critères de la RE 2020, il doit être revu ou abandonné. Certains critères ne pourront pas être vérifiés correctement avec les données de cette phase, vous devrez les valider plus tard.

#### **Etape 4 - Composition de multiples combinaisons de ressources en matériaux et définition des besoins :**

Avec les ressources identifiées lors de l'étape 1, vous pouvez associer différentes ressources entre elles pour créer différentes combinaisons de matériaux et y associer un besoin volumique. On s'intéresse ici seulement à la structure du bâtiment, le gros œuvre. L'isolation sera à prendre en compte plus tard. Pour chaque matériau, il existe des méthodes constructives spécifiques. Après avoir défini la méthode constructive, il sera facile de déduire un besoin en m<sup>3</sup> pour chaque matériau.

N'oubliez pas de compléter le journal de bord de vos différentes combinaisons !

Voici un exemple de combinaisons afin de rendre nos propos plus concrets :

**/!\** Lors de l'élaboration des ces combinaisons, pensez à leur coût environnemental ! Pour cela, vous pouvez vous servir du plateau et des échelles mises en place lors de la phase 1. En effet, la diminution du transport

des ressources permettrait déjà une première réduction de l'impact environnemental de votre projet de construction.

<i>Combinaison 1</i>			<i>Combinaison 2</i>		
<i>Matériaux</i>					
	Besoin en m <sup>3</sup>	Matériaux		Besoin en m <sup>3</sup>	Matériaux
Sols	80	béton	Sols	80	béton
Toitures	70	béton	Toitures	100	Bois
Murs	110	pierre	Murs	110	Pizet

Une fois les différentes combinaisons élaborées, vous pouvez passer à l'étape suivante qui va vous permettre, grâce à une ébauche d'ACV, de faire une évaluation quantitative du coût environnemental de chacune de ces combinaisons et ainsi de pouvoir d'ores et déjà en éliminer certaines.

### **Etape 5 - ACV incomplète de chaque combinaison :**

Pour réaliser cette ébauche d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) sur les matériaux et sur les énergies choisis selon les combinaisons définies à l'étape précédente vous vous aiderez de deux outils principaux :

- Le site [diogen.fr](http://diogen.fr) qui constitue une base de données d'ACV pour les matériaux du génie civil.
- Le tableur excel se trouvant au lien ci-dessous qui vous permettra de rentrer les données récoltées et d'obtenir une comparaison graphique des combinaisons selon les différents critères. <https://drive.google.com/file/d/1Q20CToLU57NR2y67tgKngnOBa31mOmmM/view?usp=sharing>

Description des feuille du Tableur :

- Quelques ordres de grandeurs : Feuille à consulter pour obtenir à la fois des ordres de grandeurs au niveau des émissions de CO2 par type d'énergie mais aussi par type de transports utilisés pour faire venir les matériaux.
- ACV matériaux : Feuille constituée de tableaux à remplir avec les données diogen qui calcule l'impact environnemental du projet sur 5 critères différents : la consommation des ressources, leur épuisement, la consommation d'eau totale, la production de déchets solides et l'impact sur le changement climatique.
- Résultats ACV matériaux : Feuille à consulter donnant des graphiques en bâtons comparatifs des différentes combinaisons pour chacun des critères

Lorsque le tableau est rempli, n'oubliez de reporter vos résultats sur le journal de bord !

La chaîne de transport du matériau doit également être prise en compte dans l'ACV. Les émissions en CO<sub>2</sub> moyennes de différents moyens de transport peuvent être trouvées page 44 ([Ordre de grandeurs des Moyens de Transports - Émissions CO2](#)). Cette valeur doit apparaître dans la matrice de décision dans la case "Matériaux - Transport"

### **Etape 6 - Elimination des solutions :**

C'est la dernière étape de cette phase, vous devez éliminer les solutions les moins pertinentes. Vous pouvez en retenir 2-3 pour la phase 3.

## Interlude 2 - La Sécurité

L'objectif de cet interlude est de mener une réflexion autour des questions de sécurité, des normes pour les personnes à mobilité réduite, phoniques, constructives, etc. Suivant la fonction du bâtiment établie au début du projet, vous devez vous référer aux articles et tableaux de réglementation à partir des liens ci-dessous :

→ Bureaux ERP de type W (catégories 1 à 5):

[https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/erpw/w\\_def.php?id=top](https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/erpw/w_def.php?id=top)

→ Ecoles ERP de type R (catégories 1 à 5):

[https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/erpr/r\\_def.php?id=top](https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/erpr/r_def.php?id=top)

\_\_\_\_\_ → Bâtiments d'habitation (accès par famille, logements foyers, parc de stationnement)

[https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/hab/tm\\_hab.php?id=top](https://www.sitesecurite.com/contenu/portail/hab/tm_hab.php?id=top)

Adaptez votre bâtiment en conséquence.

## Phase 3 - Choix des solutions

### Objectif

L'objectif de cette phase est de définir les solutions énergétiques au niveau de l'isolation, du chauffage, de la climatisation et de la production d'électricité à mettre en place dans le bâtiment.

### Déroulement de la phase

#### Étape 1 - Choix des énergies du bâtiment :

Avant de pouvoir déterminer les meilleures solutions thermiques pour le bâtiment, il faut tout d'abord choisir les principales sources d'énergies qui pourront satisfaire les besoins énergétiques déterminés en phase 2. Pour vous aider dans ce choix, le plateau complété en phase I a déjà mis en évidence les sources d'énergies disponibles sur le territoire.

Ce choix pourra être divisé en deux catégories : les sources d'énergies électrique (création d'électricité) et les sources d'énergie thermique (création de chaleur et ou de froid) pour tirer le meilleur du potentiel du territoire. Les sources d'énergies électriques peuvent aussi remplacer les sources d'énergies thermiques.

Dans l'optique de créer un bâtiment respectueux de l'environnement, le choix de ces sources d'énergies pourra tenir compte de l'ACV de ces moyens de productions ou alors de l'énergie grise dépensée pour acheminer les ressources combustibles jusqu'au projet. Des tableaux récapitulatifs des coûts environnementaux des différentes sources d'énergies est disponible dans la partie Conseils et Annexes page 44. ([Ordre de grandeurs des Sources d'énergies - Émissions CO2](#))

Une fois que vous aurez fait ce choix, vous pourrez retirer des cartes solutions disponibles toutes les solutions qui nécessitent une source d'énergies que vous n'avez pas choisie.

#### Étape 1.bis - Choix des solutions de création d'énergie électrique :

Après avoir choisi une énergie, vous devez maintenant choisir la solution de production d'électricité qui vous convient.

Pour illustrer nos propos nous vous donnons quelques exemple de ce qui peut être envisagé :

Si la source d'énergie est locale	
<i>Energie</i>	<i>Solution</i>

Solaire	Panneau solaire
Vent	Eolienne domestique
Hydraulique	Roue à Aube / Hydrolienne

<b>Si la source d'énergie n'est pas locale</b>	
<i>Energie</i>	<i>Solution</i>
Fossile	Groupe électrogène
Mix Énergétique	Réseau Électrique

### **Etape 2 - Combinaisons de solutions énergétiques :**

Il s'agit maintenant d'élaborer une solution énergétique globale pour votre bâtiment. Dans ce jeu on distingue 3 familles énergétiques : l'isolation, le chauffage/climatisation et la ventilation. Ces familles étant dépendantes les unes des autres vous devez réfléchir à une solution énergétique globale et non à chaque solution de façon dépendante.

C'est pourquoi nous vous proposons d'élaborer 4 combinaisons de solutions. Chacune d'entre constitue une proposition de solution globale composée d'une solution de chaque famille énergétique. Pour vous guider dans vos choix vous trouverez de nombreuses informations sur les cartes solutions.

Voici un exemple pour illustrer nos propos :

<i>Isolation</i>	<i>Chauffage</i>	<i>Ventilation</i>
<i>Combinaison 1</i>		
Laine de mouton	Poêle à bois	VMC simple flux hydropour réglable
<i>Combinaison 2</i>		
Laine de chanvre	Poêle à bois relié au circuit d'eau	VMC simple flux hydropour réglable
<i>Combinaison 3</i>		
Ouate de cellulose (toiture) /Laine de mouton (mur)	Poêle à bois relié au circuit d'eau	VMC simple flux hydropour réglable

Une fois ces combinaisons réalisées vous pouvez passer à l'étape 3 pour évaluer l'efficacité de vos combinaisons et choisir la meilleure solution globale !

### **Etape 3 - Evaluation des combinaisons :**

Maintenant que les différentes combinaisons ont été définies, il vous faut les comparer afin d'estimer lesquelles sont les meilleures. Pour ce faire, chaque combinaison doit être évaluée en fonction de différents critères, qui sont listés ci-dessous (liste non exhaustive) :

- Rendement électrique
- Coefficient de performance thermique
- ACV
- Coefficient de conductivité thermique
- Prix
- Etc.

Sur chaque carte solution, vous trouverez une évaluation de ces différents critères. Vous devrez donc utiliser les cartes afin de remplir la matrice de décision de la phase 3 (cf. Journal de bord p.12).

À noter que ces critères peuvent être qualitatifs : il vous faudra donc estimer à l'aide du code couleur l'efficacité des différentes combinaisons.

En ce qui concerne la RE 2020, nous rappelons ci-dessous ce que la norme indique :

- consommation de chauffage inférieure à 12 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an
- consommation d'NRJ primaire (Cep) (chauffage + eau chaude sanitaire + éclairage + appareils électriques) inférieure à 100 kWh/m<sup>2</sup>/an
- production d'électricité au moins égale à la consommation du bâtiment
- Une consommation en énergies fossiles : Logement collectif : d'abord 14 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an, puis 6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an (Solutions hybrides possibles). Maison individuelle : 4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an

Le respect des critères de la RE 2020 doit faire partie de l'évaluation des différentes combinaisons. Cependant, nous ne pouvons fournir un formulaire de calcul dans le présent document. Aussi, les calculs à effectuer, si calculs il y a, devront être menés de votre propre initiative.

*→ La RE 2020 n'ayant pas encore été adoptée ni mise en application au moment de la rédaction de ce livret, nous ne pouvons fournir de formulaire précis. Notre jeu devra faire l'objet d'une réécriture ultérieure pour correspondre au mieux aux nouvelles normes.*

### **Etape 4 -Choix d'une combinaison énergétique :**

Une fois que vous avez évalué l'ensemble des combinaisons avec l'ensemble des critères, choisissez la combinaison de solutions qui satisfait le mieux les critères et avec le degré d'importance que vous vous fixerez.

### *Etape 5 - Gestion des eaux / autres types de solutions :*

La partie énergétique est une partie essentielle à prendre en compte lors de la conception d'un bâtiment. Cependant, au moment du lancement d'un projet de construction d'autres questions comme la gestion des eaux dans le bâtiment se posent.

Tout d'abord, il faut réfléchir à l'assainissement. Est-il collectif ou individuel ? Si il est collectif, aucune réflexion n'est nécessaire, les eaux usées sont reliées au réseau de tout-à-l'égout communal et seront traitées en station d'épuration. En revanche, si l'assainissement est individuel plusieurs solutions sont envisageables comportant chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Ces solutions avec des informations plus précises sur chacune d'entre elles sont listées sur les cartes *Solutions catégorie Assainissement* . Vous pouvez ainsi les comparer et en choisir une si besoin.

Enfin, il peut aussi être intéressant de diminuer sa consommation d'eau ou plus précisément de diminuer la quantité d'eau prélevée sur le réseau ou dans les nappes phréatiques en utilisant les ressources locales et les atouts du bâtiment. Par exemple, il est possible d'installer des récupérateurs d'eau de pluie récupérant l'eau ruisselant du toit par les gouttières. Cette eau peut ensuite servir pour les toilettes ou à l'arrosage !

## Interlude 3 - Remise en question

L'objectif de cet interlude est d'amener à une réflexion plus ou moins succincte sur des sujets divers qui n'ont pas été abordés antérieurement. Vous disposez donc de cartes questions contenant chacune une question ouverte. Tirez-en 3 au hasard et réfléchissez-y.

## Interlude Finale - ACV

Bravo, vous avez presque terminé ! Pour clôturer l'étape d'avant-projet de votre projet de construction nous vous proposons de réaliser l'ACV complète de la solution ou des 2 solutions principales retenues. Pour cela, vous pouvez utiliser le logiciel d'ACV Elodie.

# Conseils et Annexes

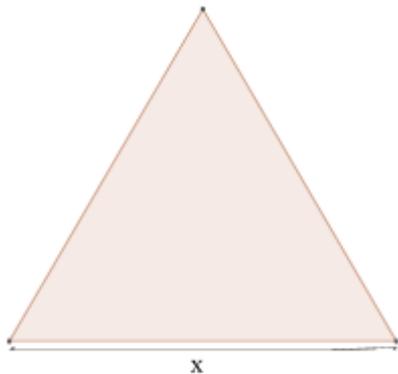
## Exemples et ordres de grandeur pour la compacité

### Plans au sol et Périmètre

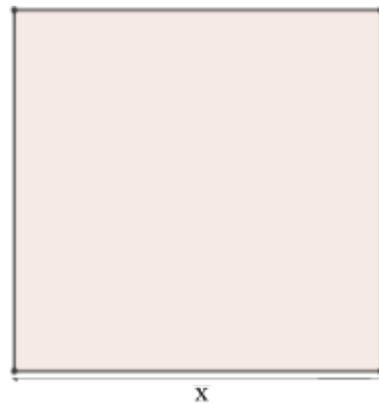
Les exemples qui suivent sont des exemples communs de plan au sol d'un bâtiment. Tous les exemples chiffrés sont donnés pour une surface de  $100\text{m}^2$  et avec une épaisseur de mur de 30 cm sur tout le long de la structure. La valeur  $x$  désigne la longueur caractéristique de la surface utilisable,  $x'$  la longueur caractéristique de la surface totale et  $e$  est l'épaisseur du mur.

#### *Les polygones réguliers*

##### Triangle :

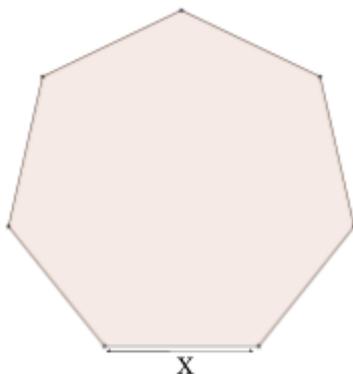


##### Carré :

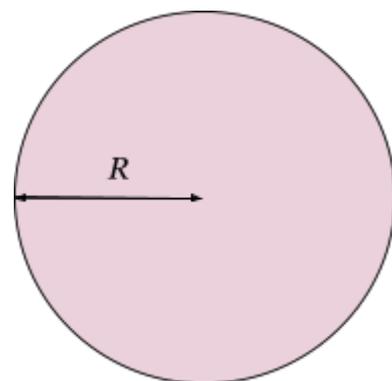


	Théorique	Pour $100\text{ m}^2$		Théorique	Pour $100\text{ m}^2$
Longueur caractéristique	$x = 2 \times 3^{-0.25} \sqrt{S}$	15.198 m		$x = \sqrt{S}$	10 m
Périmètre	$P = 3(x + \sqrt{3}e)$	48.71 m		$P = 4x + 8e$	42.4 m

##### Polygone à N Côtés :



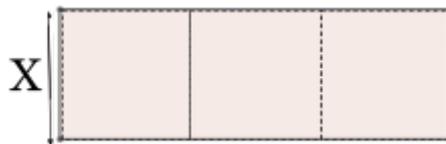
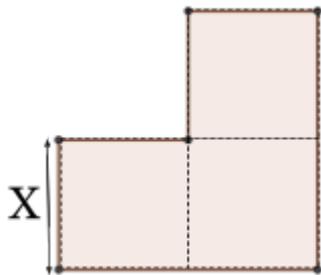
##### Cercle :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et N=7		Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup>
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{\frac{4S \tan(\frac{\pi}{N})}{N}}$	5.24 m		$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	5.64 m
Périmètre	$P = Nx'$	37.91 m		$P = 2\sqrt{\pi S} \frac{R+e}{R}$	37.33 m

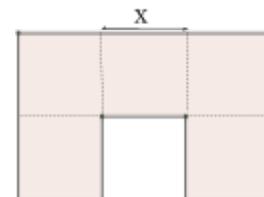
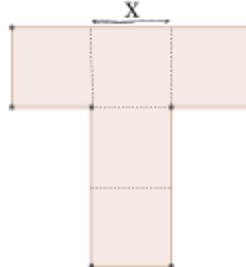
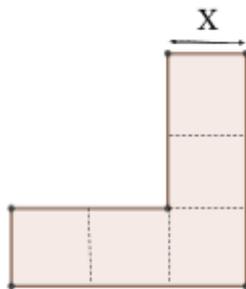
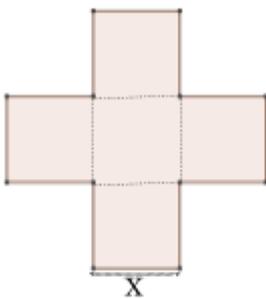
**Formes Récurrentes :**

Les formes en 3 sections :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup>
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{\frac{S}{3}}$	5.77 m
Périmètre	$P = 8\sqrt{\frac{S}{3}} + 8e$	48.58 m

Les formes en 5 sections :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup>
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{\frac{S}{5}}$	4.47 m
Périmètre	$P = 12\sqrt{\frac{S}{5}} + 8e$	56.068 m

## Mise en volume et compacité

Les exemples qui suivent présentent les performances en termes de compacité de plusieurs mises en volumes à partir de plans au sol circulaire ou carré. Pour un même plan, toutes les techniques présentées sont calculées pour la même hauteur. Mais il faut cependant prendre en compte que dans certains cas, cette hauteur est peu pertinente pour le volume considéré et donc certains critères de performances peuvent être sous-valorisés.

Liste des grandeurs utilisées :

$x$  : longueur caractéristique de la surface au sol

$x'$  : longueur caractéristique de la surface au sol mais en prenant en compte les épaisseurs

$S$  : surface au sol

$h$  : hauteur du volume intérieur

$h'$  : hauteur du volume extérieur

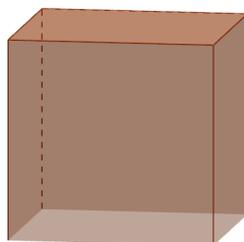
$\rho$  : pourcentage de la hauteur du sous-volume par rapport à la hauteur  $h$

$\rho'$  : pourcentage de la hauteur du sous-volume par rapport à la hauteur  $h'$

$e$  : épaisseur

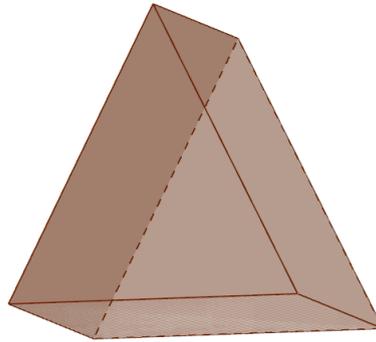
### ***Volume à base carrée***

Pavé



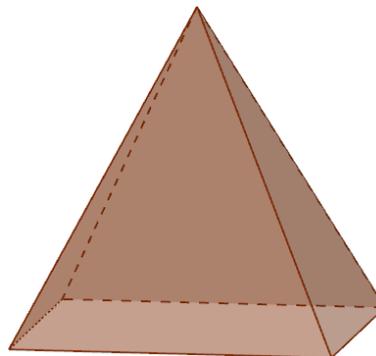
	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et h= 5 m (h'=5,3m) et e=30 cm
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = S' + 4(x + 2e)h'$	337 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = Sh$	500 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \left(\frac{x+2e}{x}\right)^2 + \frac{4(x+2e)h'}{S}$	3.37
Volume utile	$V_{utile} = 3S$	300 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = \frac{3}{h}$	0.6
Rapport Volume utile/Surface	$\eta = 3$	3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Tente



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et h=5 m (h'=5,3m) et e=30 cm
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = (x + 2e)[h' + \sqrt{4h'^2 + (x + 2e)^2}]$	215 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = \frac{x^2 h}{2}$	250 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{x+2e}{x^2} [h' + \sqrt{4h'^2 + (x + 2e)^2}]$	2.15
Volume utile	$V_{utile} = \frac{x^2}{2} (h - \frac{(h-3)^2}{h})$	210 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = 1 - (\frac{h-3}{h})^2$	0.84
Rapport Volume/Surface	$\eta = \frac{1}{2} (h - \frac{(h-3)^2}{h})$	2.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

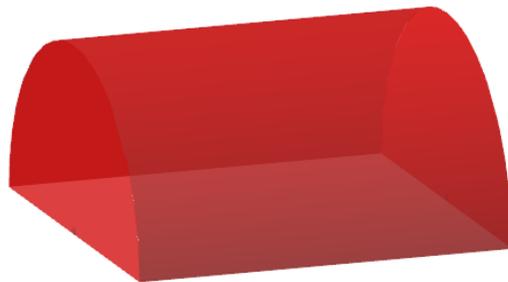
Pyramide



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et h= 5 m (h'=5,3m) et e=30 cm
--	-----------	--

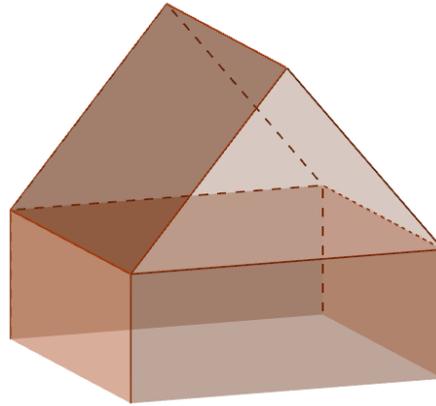
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = (x + 2e)\sqrt{4h^2 + (x + 2e)^2}$	159 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = \frac{Sh}{3}$	166 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{x+2e}{x^2}\sqrt{4h^2 + (x + 2e)^2}$	1.59
Volume utile	$V_{utile} = \frac{S}{3} \left( h - \frac{(h-3)^3}{h^2} \right)$	156 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = 1 - \left( \frac{h-3}{h} \right)^3$	0.94
Rapport Volume/Surface	$\eta = \frac{1}{3} \left( h - \frac{(h-3)^3}{h^2} \right)$	1.56 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

### Serre



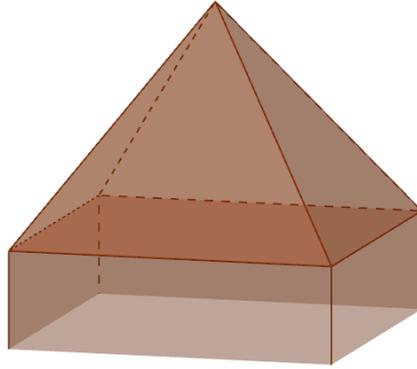
	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et e= 30 cm
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = \frac{\pi(x+2e)^2}{2}$	176 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = \frac{\pi x^3}{8}$	393 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{\pi(x+2e)^2}{2x^2}$	1.76
Volume utile	$V_{utile} = x \left[ \frac{\pi x^2}{8} - \frac{x^2}{8} (\pi - 2 \arcsin(\frac{6}{x})) \right] + 3\sqrt{\frac{x^2}{4}}$	281 m <sup>2</sup>
Efficacité volumétrique	$v = 1 - \frac{1}{\pi} (\pi - 2 \arcsin(\frac{6}{x})) + 24 \frac{\sqrt{\frac{x^2}{4}-9}}{\pi x^2}$	0.72
Rapport Volume/Surface	$\eta = \frac{\pi x}{8} - \frac{x}{8} (\pi - 2 \arcsin(\frac{6}{x})) + \frac{3}{x} \sqrt{\frac{x^2}{4} - 9}$	2.81 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

### Tente surélevée



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> , h= 5 m (h'=5,3m), e=30cm et ρ=0.3 (ρ'=0.28)
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = (x + 2e)[h'(4\rho' + (1 - \rho')) + \sqrt{4((1 - \rho')h')^2 + (x + 2e)^2}]$	242 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = S\rho h + \frac{1}{2}S(1 - \rho)h$	325 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{x+2e}{x^2} [(4\rho' + (1 - \rho'))h' + \sqrt{4((1 - \rho')h')^2 + (x + 2e)^2}]$	2.42
Volume utile	$V_{utile} = S\rho h + \frac{1}{2}S[(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^2}{(1-\rho)h}]$	267 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = \frac{\rho + \frac{1}{2}(1 - \rho)(1 - (\frac{h-3}{(1-\rho)h})^2)}{\rho + \frac{1}{2}(1-\rho)}$	0.82
Rapport Volume utile/Surface	$\eta = \rho h + \frac{1}{2} [(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^2}{(1-\rho)h}]$	2.67 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

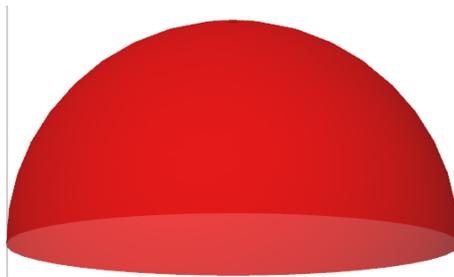
### Pyramide Surélevée



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> , h= 5 m (h'=5,3m), e=30cm et ρ=0.3 (ρ'=0.28)
Longueur caractéristique	$x = \sqrt{S}$	10 m
Surface extérieur	$S_{ext} = (x + 2e)[4\rho h' + \sqrt{4[(1 - \rho')h']^2 + (x + 2e)^2}]$	201 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = S\rho h + \frac{1}{3}S(1 - \rho)h$	267 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{x+2e}{x^2} [4\rho h' + \sqrt{4[(1 - \rho')h']^2 + (x + 2e)^2}]$	2.01
Volume utile	$V_{utile} = S\rho h + \frac{1}{3}S[(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^3}{[(1-\rho)h]^2}]$	244 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = \frac{\rho + \frac{1}{3}(1 - \rho)(1 - (\frac{h-3}{(1-\rho)h})^3)}{\rho + \frac{1}{3}(1-\rho)}$	0.92
Rapport Volume utile/Surface	$\eta = \rho h + \frac{1}{3} [(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^3}{[(1-\rho)h]^2}]$	2.44 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

### *Volume à base circulaire*

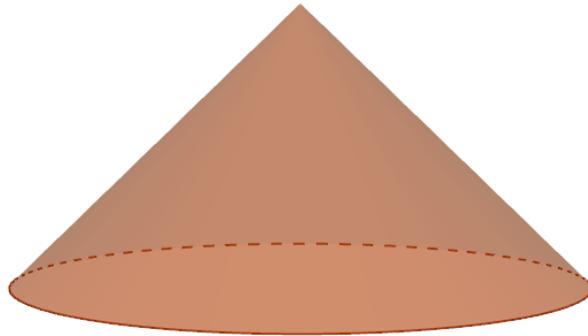
Igloo :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> et e=0.3 m
--	-----------	------------------------------------

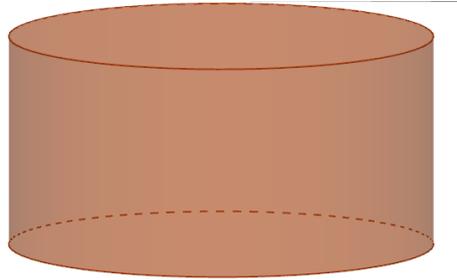
Longueur caractéristique	$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	5.64 m
Surface extérieur	$S_{ext} = 2S'$	222 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = \frac{2}{3}\pi R^3$	376 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = 2\left(\frac{R+e}{R}\right)^2$	2.22
Volume Utile	$V_{utile} = \frac{1}{3}(\pi R^3 - \pi(R-3)^2(2R+3))$	271 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = 1 - \frac{(R-3)^2(2R+3)}{6R^3}$	0.907
Rapport Volume/Surface	$\eta = \frac{1}{3}\left(2R - \pi\frac{(R-3)^2(2R+3)}{R^2}\right)$	2.71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Tipi:



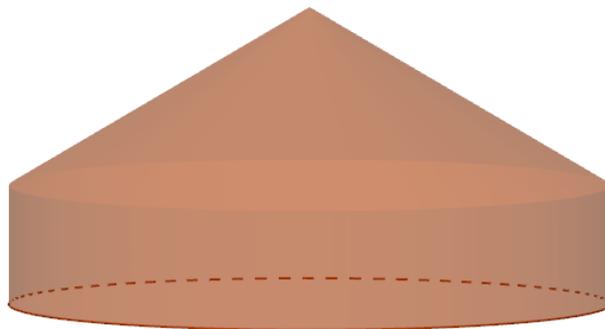
	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> , h= R (h'=R+e) et e=0.3 m
Longueur caractéristique	$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	5.64 m
Surface extérieur	$S_{ext} = \sqrt{S'(S' + \pi h'^2)}$	157 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = \frac{1}{3}Sh$	188 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{R+e}{R} \sqrt{(R+e)^2 + h'^2}$	1.57
Volume utile	$V_{utile} = \frac{1}{3}S\left[h - \frac{(h-3)^3}{h^2}\right]$	168 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = 1 - \frac{(h-3)^3}{h^3}$	0.897
Rapport Volume/Surface	$\eta = \frac{1}{3}\left[h - \frac{(h-3)^3}{h^2}\right]$	1.68 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Tour :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> , h= R et e=0.3 m
Longueur caractéristique	$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	5.64 m
Surface extérieur	$S_{ext} = 2\sqrt{\pi S'}h' + S'$	333 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = Sh$	564 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \frac{2h'(R+e)}{\sqrt{\pi R^2}} + \left(\frac{R+e}{R}\right)^2$	3.33
Volume utile	$V_{utile} = 3S$	300 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = \frac{h-3}{h}$	0.468
Rapport Volume/Surface	$\eta = h - 3$	2.64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Yourt :



	Théorique	Pour 100 m <sup>2</sup> , h= R (h'=R+e), ρ=0.3 (ρ'=0.28) et e=30cm
Longueur caractéristique	$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	5.64 m

Surface extérieur	$S_{ext} = \rho'2\sqrt{\pi S'h} + \sqrt{S'(S' + \pi[(1 - \rho')(h + e)]^2)}$	202 m <sup>2</sup>
Volume intérieur	$V = S\rho h + \frac{1}{3}S(1 - \rho)h$	300 m <sup>3</sup>
Compacité	$C = \rho' \frac{2h'(R+e)}{\sqrt{\pi}R^2} + \frac{R+e}{R^2} \sqrt{(R+e)^2 + [(1 - \rho')(h + e)]^2}$	2.02
Volume utile	$V_{utile} = S\rho h + \frac{1}{3}S[(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^3}{[(1-\rho)h]^2}]$	261 m <sup>3</sup>
Efficacité volumétrique	$v = \frac{\rho + \frac{1}{3}(1-\rho)(1 - \frac{(h-3)^3}{[(1-\rho)h]^2})}{\rho + \frac{1}{3}(1-\rho)}$	0.869
Rapport Volume utile/Surface	$\eta = \rho h + \frac{1}{3} [(1 - \rho)h - \frac{(h-3)^3}{[(1-\rho)h]^2}]$	2.61 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

## Ordre de grandeurs des Sources d'énergies - Émissions CO<sub>2</sub>

Type d'énergie	Emission de gaz à effet de serre (kgCO <sub>2</sub> eq/KWh)
Mix énergétique moyen - consommation	0,0599
Centrale à charbon - production	1,06
Centrale fioul - production	0,73
Centrale gaz - production	0,418
Centrale nucléaire - production	0,006
Eolien en mer -production	0,0156
Eolien terrestre -production	0,0141
Géothermie - production	0,045
Hydraulique -production	0,006
Photovoltaïque -production	0,055
Biomasse (GIEC 2014)	0,23
Energie marémotrice (GIEC 2014)	0,017

## Ordre de grandeurs des Moyens de Transports - Émissions CO<sub>2</sub>

Type de transport	Emission de gaz à effet de serre (kgCO <sub>2</sub> eq/t/km)
Routier - Diesel et 7% de biodiesel	0,374
Routier - Électrique	0,144
Routier - GNC (gaz naturel comprimé)	0,355
Routier - Hybride	0,32
Train - Charge moyenne	0,0066
Avion cargo - Avec traînée (2018)	3,1

Maritime	0,013
Fluvial - Bateau automoteur et pousseur	0,03

## Outils Externes

**Elodie (Batipédia) :** Batipédia est le portail du CSTB permettant d'accéder à différents outils pour concevoir un bâtiment. Le logiciel Elodie permet notamment d'effectuer une Analyse de cycle de vie précise d'un bâtiment (l'accès à Batipédia est réglementé) <https://www.batipedia.com/>

**InfoClimat :** Site associatif fournissant une base de données en temps réel du climat principalement en France, mais également dans d'autres pays du monde. <https://www.infoclimat.fr/>

**InfoTerre :** InfoTerre est un site web public proposant une base de données géographiques de toutes les informations relatives aux de la Terre, la géologie, hydrogéologie, etc.. <https://infoterre.brgm.fr/>

**Géoportail :** Portail national de la connaissance du Territoire. Permet d'accéder à de nombreuses cartes thématiques pour des sujets divers : culture, environnement, économie, territoire, etc. <https://www.geoportail.gouv.fr/>

**Diogen :** (Données d'Impacts pour les ouvrages de Génie civil) Site web issu d'un groupe de travail reportant les impacts environnementaux des différents matériaux du génie civil. La base donnée comprend actuellement les données concernant le béton, le bois et l'acier. <http://www.diogen.fr/>

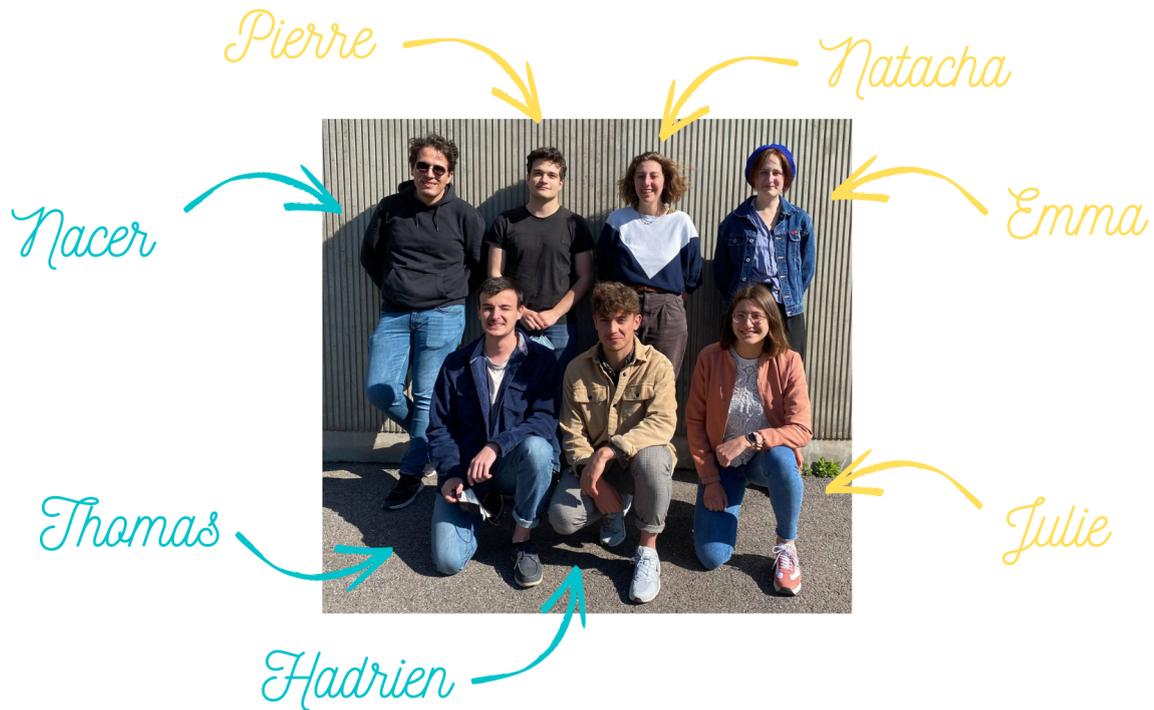
**PassivAct :** Blog rédigé par des architectes experts des bâtiments passifs. De nombreuses informations sur la capacité et l'économie d'énergies sont disponibles. <https://passivact.fr/>

**Solar Radiation Tool :** Logiciel permettant de quantifier l'intérêt de l'énergie solaire pour un lieu donné <https://re.jrc.ec.europa.eu/>

**QGIS :** QGIS est un Système d'Information Géographique (SIG) convivial distribué sous licence publique générale GNU. C'est un projet officiel de la fondation Open Source Geospatial (OSGeo). Il est compatible avec la plupart des systèmes d'exploitations et intègre de nombreux formats vecteur, raster, base de données et fonctionnalités. <https://www.qgis.org/fr/site/>

# L'Équipe de conception du Jeu

Notre équipe est composée de 3 architectes de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (ENSAG) et de 4 ingénieurs de l'École Nationale Supérieure de l'Énergie, de l'Eau et de l'Environnement (ENSE3).



# Mot de la fin / Remerciement

La phase d'avant projet touche maintenant à sa fin et nous espérons avoir réussi à vous épauler à l'aide de ce jeu sérieux tout au long de votre travail. Nous espérons également que cet outil a pu faciliter la collaboration entre les différents corps de métiers acteurs d'un projet de construction.

Le jeu n'en n'est qu'à sa première version et il sera certainement amené à être amélioré dans le futur.

Nous remercions notre porteur de projet, Stéphane Ploix, sans qui ce projet n'aurait pas pu débuter, de nous avoir mis à disposition les ressources nécessaires à son avancée. Nous remercions également notre coordinateur Brahim Ramdane et notre référent gestion de projet, Yves-Alain Ratron qui nous ont suivis tout au long du projet et nous ont permis d'éclaircir nos objectifs et d'adopter une organisation efficace. Enfin, nous remercions tous nos professeurs du parcours PARIN, Olivier Bavarel, Nicolas Dubus, Guillaume Pradelle et Jacques Felix-Faure qui nous ont permis de discuter avec eux de notre projet, nous ont donné des clés et nous ont guidés dans la bonne direction.