Données générales

Les performances seront meilleures si ce système est placé SOUS la maison , dans le terre-plein ..!!
voire à l'extérieur sous une terrasse bien isolée, ou sous une véranda (l'air surchauffé venant de la véranda se refroidit vite sur les galets: entrée à 50°C et sortie à 18°C~22°C).
On stocke de la chaleur les 3 ou 4 mois chauds de l'année pour les besoins des 3 premiers mois d'automne-hiver (octobre, novembre et décembre) , et jusqu'à mi janvier selon la douceur de l'hiver.
La terre sous les galets reste à une T° entretenue régulièrement au-dessus de 18~22°C par les capteurs à air.
Avec des tunnels moins profonds , il faut 20 à 30% de capteurs en plus pour assurer simultanément le chauffage direct de la maison (inertie des murs) et la recharge des tunnels "surfaciques" sous la dalle.
le stockage ayant une très grosse inertie est trop lourd à gérer (cas des premières maisons bâties sur ce système) , il est nécessaire de by-passer ce type de stockage pour chauffer directement la maison , en janvier février, par temps ensoleillé. Mais au delà c'est la véranda et un poêle qui assureront principalement chauffage tandis que le terre plein se sera transformé en puits canadien encore assez chaud aux alentours de 20°C pour préchauffer l'air extérieur.
La température des galets varie plus rapidement que la terre qui l'entoure , et il y a comme un effet de dilution au fur et à mesure qu'on s'éloigne des galets : pour une variation rapide de 1°C dans les galets , la terre à 1m ne varie que de 0.1 à 0.2 °C dans la journée.
S'il y a 30°C dans les galets en fin d'été , cela ne veut pas dire que la dalle est aussi à 30°C ! il faut attendre que la chaleur se propage tout en se "diluant" dans toutes les directions.
Idem quand les saisons s'inversent , l'air neuf froid refroidit bien les tunnels mais à 1m , la terre est encore tiède , et le soleil printanier chauffe à travers les vitrages pour continuer à maintenir la température de la dalle au-dessus de 20°C ..
Pour arriver à 17°C au niveau de la dalle , il faudrait que l'hiver dure plus de 6 mois , sans aucun apport solaire à travers les baies vitrées .

La phase de stockage dure de 2 à 4 mois, à la fin , la terre commence à être tiède à la surface. Sous la dalle d'une maison, succède la phase de déstockage de deux manières:

-1) déstockage par conduction à travers la dalle de béton (T° : environ 20° à 24°C)
-2) déstockage par préchauffage de l'air neuf sur les galets encore tièdes , enveloppés au sein du terre-plein chaud qui se refroidit lentement sur les 2~3 mois de l'hiver
le stockage (**à -2.00m**) commence à se refroidir courant février MAIS le soleil revenant prend le relais en chauffant directement l'habitat avec les capteurs disponibles et par les vitrages SUD , tandis que le sous-sol redescend vers 19 ~17 °C(**à -2.00m**) mais pas la dalle (**dans les derniers 50cm sous le RDC**) , encore tiède puisque chauffée par les apports solaires - à partir de Février - et les apports internes gratuits

Il faut avoir présent à l'esprit que la température du stockage n'est jamais homogène sur toute la hauteur entre les galets et la surface de la dalle ..

Fin octobre après 3 mois de stockage estival , l'ensemble de la masse énorme de terre-plein (400 m3 pour une superficie de 100 m2 au RDC, bien isolé en périphérie) sera stabilisé à une température entre 24°C et 28°C selon l'ensoleillement estival (entre été chaud et été pluvieux)
températures généralement constatées fin Septembre (fin de stockage):

- galets de 28°C à 30°C stabilisés le matin (30 à 35°C juste après le coucher de soleil)
- entre 2 tunnels: stables entre 26°C et 28°C
- à 1m du sol: 22°C~24°C
- au niveau dallage: 20°C~22°C
- air neuf préchauffé sortant des tunnels de galets: 22°C à 26°C en dehors des périodes ensoleillées

Chronologie de fonctionnement

Au printemps , les galets sont entre 16 et 18°C environ car ils ont été refroidis par l'air neuf (déstockage en hiver) en mode "puits canadien " , mais le reste du stockage , à 1.00 et 0.50m de la dalle sont à des températures de 2 à 4 °C au dessus .

Au milieu de l'été , les galets et la zone autour des galets à -+ 50cm autour repassent au-dessus de 25°C

A la fin de l'été , cette température avoisine 28 à 30°C ; au fur et à mesure que le temps passe , cette chaleur se propage vers les 50cm suivants avec un léger abaissement des températures (dilution de la chaleur au sein de la masse de terre) puis encore vers les 50cms suivants ...jusqu'à la dalle vers 21~23°C
on continue à stocker une partie tout en chauffant la maison directement si besoin avec les capteurs à air

Courant Décembre , le stockage se refroidit à la fois par le centre des tunnels (parcours d'air neuf la nuit) , par la surface de la dalle ,sur les côtés et par le fond .
Si la maison est bien isolée en périphérie des fondations ,avec un bon niveau aux murs et en toiture , la quasi-autonomie peut être atteinte en hiver en attendant que le soleil prenne la relève avec les apports directs à partir de février sur la dalle&murs intérieurs via les baies vitrées sud .
la chaleur stockée dans la masse de terre chauffée par les tunnels commence à arriver à la dalle : c'est un des deux types de déstockage
Tout au long de l'hiver , les tunnels à galets permettent de tempérer l'air neuf extérieur : deuxième type de déstockage , jusqu'à la fin de l'hiver , alors que la T° des galets repasse sous les 17~16°C
Au Printemps , les Tunnels à galets continuent à tempérer l'air neuf lors des nuits froides , mais les capteurs à air (ou la véranda) peuvent chauffer la maison dans la journée

Et dès mi- Juin , fin Juin , on reprend la décharge des capteurs dans les tunnels tout en profitant de ce que l'air est froid en sortant des tunnels via un échangeur air-air (pour ceux qui réclament un air neuf à 100% sain

Le stockage de la chaleur estivale se fait par passage d'un flux d'air chauffé par des capteurs , AVEC SORTIE après les tunnels vers le DEHORS (si on ne veut pas d'air dans la maison pour "diverses "raisons).

On peut aussi bien diriger l'air sortant des tunnels VERS la maison si on veut "profiter" de la fraîcheur résiduelle des galets et de la terre autour en début de stockage (avec tunnels profonds , entre juillet et Août)

En fin d'été , le stockage étant chaud (26/28°C) il faut aussi by-passer par dessus ce stockage pour évacuer cet air chaud au dehors (fin juillet - courant aout) et ventiler la maison pendant les nuits en Août Septembre en se servant de l'inertie des murs pour maintenir une température agréable si ce n'est pas une MOB.
En période de stockage , fin Aout ou Septembre , les galets sont chauds , l'air continuant de passer par le réseau profond , on peut fermer les grilles de soufflage et cet air retourne par le réseau direct et remonte vers le caisson ventilo d'où il s'échappe par le volet manuel vers une cheminée extérieure .

l'hiver arrivant , le déstockage peut commencer par diffusion à travers la dalle avec un temps de déphasage dépendant de la profondeur (au début de l'hiver , la terre environnante est relativement tiède).

<u>En hiver:</u>

- en journée ensoleillée (février à mai) , la température venant du capteur est supérieure à la température en sortie des galets
  - insufflation en direct dans la maison
    - *Air neuf > capteurs >plenum > distribution dans les pièces et évacuation de l'air vicié au-dehors (débit VMC augmenté automatiquement)*
    - *donc on ne chauffe pas la dalle , le soleil s 'en charge déjà assez bien par les apports solaires directs hivernaux*
- en journée nuageuse, par temps très froid ou la nuit, la température venant du capteur est inférieure à la température en sortie des galets
  - insufflation en passant sur les galets tièdes
- *La nuit en hiver = air neuf >puits canadien (sous véranda) >tunnels >plenum et distribution de l'air , rejet par VMC simple flux*
  - *le débit d'air neuf devient celui d'une VMI (0.5 à 1 fois le volume habitable de la maison) : ce débit passe soit par le réseau superficiel si la dalle est tiède , soit par le réseau profond là où les galets sont encore chauds : on parle alors de déstockage par préchauffage de l'air neuf avec un bon gradient de température*

En mi-saison , selon les températures intérieure et extérieure , le système se configure automatiquement :

le jour= air extérieure >capteurs >plenum si demande en chaleur dans la maison >stockage dans les murs (dans la masse inertielle de tes murs)

OU
air extérieure >capteurs >tunnels >plenum >maison>rejet extérieur si la température dans la maison est élevée .

si on ne veut pas le faire transiter par les galets , toujours pour diverses "raisons" il existe l'un ou l'autre de ces deux moyens :

A- échangeur air air : le ventilateur assure un circuit d'air "en boucle " : galets >échangeur >galets >échangeur... et de

l'autre côté , l'air neuf transite par cet échangeur

B- échangeur par boucle PEHD enterrée sous les galets et au-dessus , avec circulateur de faible puissance : l'eau transfère les calories prises à la terre vers l'échangeur air-eau placé en amont du plenum de répartition d'air dans les pièces

Quand le soleil brille (en mi-saison):

1) ça passe à travers les vitrages et ça chauffe ta dalle sur les **10 ~15 premiers cms au cours de la journée** ...pour être rendus ensuite dans la soirée -nuit...

2) ça chauffe AUSSI tes capteurs et le flux d'air chauffe tes tunnels surfaciques en même temps que la maison par le plenum (avec volet de dosage 50/50% entre les galets et le réseau direct)

3) au final , on stocke dessus et dessous **en même temps**.. y compris dans les murs (par circulation d'air chaud venant des capteurs ..)

A partir de Février le soleil revient et grâce à la véranda ou le capteur à air , malheureusement pas encore avec la toiture (le soleil étant trop bas), on se sert du réseau "DIRECT" pour chauffer la maison en se servant de l'inertie des parois de la maison comme stockage , le poêle étant sollicité pour le soir et la nuit ..

Fin mars , les journées sont assez longues pour que les apports solaires assurent 80 à 90% des besoins de chauffage (toujours à condition d'utiliser l'inertie des parois intérieures)

Et dés Juin (mi juin environ) on recommence le cycle de recharge du stockage tout en "climatisant" la maison ...
on commence tout doucement début juin , pour climatiser la maison , avec un débit moindre , l'air sortant à 18°C ~ 20°C...

Fond tunnels à 1M20: début stockage en août
Fond tunnels à 2M30: stockage de mi-juin à fin Septembre (Il faut continuer à stocker dans les galets à la fin de l'été (encore environ 1 mois et plus) et diriger l'air vers le dehors à partir du moment où sa température à la sortie des galets dépasse 25 ou 26°C , l'effet "climatisation " n'étant plus exploitable (on est alors à la fin Août))

utilisation des tunnels:
pour puits canadien: un ou deux tranchée suffisent

pour stockage prolongé de chaleur : à placer sous la maison ou sous la terrasse d'une véranda , alimentés en air chaud par capteurs à air ou par la véranda elle-même par le biais d'un ventilateur (un modèle 600/1000 m3/h de 180W et de 20mm h20); à raison d'une tranchée par pièce à vivre (deux sous séjour)

Exemple:
20m3 de galets noyés dans un volume de terre de 14*21*2.50 = 735 m3 ce qui représente un volant thermique de 0.75KWh/m3/°C soit 551 Kwh par degré.
de Juin à Septembre , ce volume va passer de 15°C environ à 28°C en moyenne soit 7 163 KWh dont 40 à 45% récupérés , et de septembre à Avril = chauffage direct par les capteurs à air et par les vitrages

Bypass

Le by-pass permet de chauffer directement dans la maison si le stockage est plus froid que l'air extérieur (faire le by-pass par-dessus le stockage (dans le hérisson) , dans un tuyau bien isolé comme cela la tranchée est bien rentabilisée au m3 près).
En fin d'été été si les galets sont trop chauds, on rejette vers l'extérieur et on ventile la nuit par le by-pass.
(on traite cela 3 mois environ après le début du stockage en Juin ..soit en Septembre , alors que les nuits sont plus longues et plus fraîches: on aère la nuit...)

Au début de l'hiver , terre environnante relativement tiède
Il faut en effet un système de by-pass à gérer avec un thermostat différentiel:

- si stockage supérieur à 20°C , l'air neuf extérieur doit passer par la VMC DF avant le stockage
- Si stockage en dessous de 15 (à la fin de l'hiver ..) , l'air extérieur passe sur les galets puis dans la VMC DF
- enfin si l'air extérieur est plus chaud (supérieur à 25°C) autant le prendre directement sans passage ni sur les

galets ni sur la VMC DF (bref , casse -tête au niveau de l'électronique de commande et des volets de by-pass , mais cela a déjà été fait , suffit d'une bonne programmation des priorités ..)

L"idée de prendre de la chaleur sous les tuiles est bonne pour l'été et pour recharger le stockage de juin à septembre mais elle ne sera plus très performante dès octobre , à cause de la grande perméabilité des tuiles à l'air et de l'inclinaison des rayons solaires plus bas ..il faudrait poser un vitrage vertical , posé contre le mur Sud avec un beau sol réfléchissant devant (gravier blanc réfléchissant) ou incliné sur 50° et un absorbeur comme une tôle ondulée sur isolant avec lame d'air ventilée , et pomper cet air pour l'insuffler soit dans la maison soit dans le stockage …

Il y a de plus un by-pass dirigeant l'air venant des capteurs DIRECTEMENT vers les pièces habitables - par un réseau "shunt" indépendant des tunnels. En hiver par jour ensoleillé (donc l'air ne passe pas après les tunnels), car on chauffe alors directement la maison tout en réchauffant les murs qui servent de "2eme stockage" , si ces derniers sont inclus à l'intérieur de l'enveloppe isolante (murs isolés par l'extérieur, refends , dalle)

ce by-pass dirige donc cet air chaud vers un plenum de plus grande section avec nombreux piquages de sortie allant du 100 au 140 ~160 mm selon la taille des pièces , avec retour vers les capteurs (ou la serre)
les bouches d'extraction sont limitées à 30 ou 60m3/h ..autrement la maison va être en surpression avec le débit maxima du ventilateur (300 ~ 400m3/h)
la grille de reprise d'air est en fait un volet à clapets anti-retour permettant le retour du reste de l'air non rejeté (360 - 125m3/h) vers le capteur à air

Inversion sens soufflage dans les tunnels

Les galets ne sont pas "isolés" de la terre , donc avec des pertes latérales dues aux écarts de température "galets"/"terre" sur 24H d'une journée type en été:

-début de soufflage de 10h à 18h : montée en température des galets assez rapide (environ 1°C) , par rapport à la terre (0.01°C d'augmentation à 1 m des galets)

-de 18h du soir à 10h du matin , ces galets ,à leur tour , vont céder cette chaleur chaleur reçue dans la journée par conductivité à travers la terre jusqu'à une stabilisation de température de 0.05°c à 0.1°C vers 10h par rapport à la température atteinte le jour d'avant ...

bref, une montée par paliers brusques au sein des galets (1° à 2°C maximum) entre 10h et 18h et une descente de l'ordre de 0.8°C à 1. 8°C entre 18h et 10h (16h de transfert de chaleur galets-terre) en période de stockage

Au final , sur 3 à 4 mois de stockage , toute la masse de terre se sera réchauffée d'une dizaine de degrés de manière à peu près homogène (30 à 32°C à 50cm des galets , 25 à 26°C à 1m , 24°C à 1m50 ...

ce type d'inversion de flux convient très bien pour les faibles volume de stockage , là où la température augmente nettement plus , comme avec seulement 2.50m de tunnel et peu de terre autour , avec des écarts de température plus francs (3 à 6°C..)mais cela suppose d'avoir une gestion électronique pointue pour la gestion des apports et déstockage , même problématique que pour les stockages de type hydroaccumulation de faible capacité (moins de 10m3)

Déphasage:
un mois et demie par mètre
1M50m est une profondeur idéale pour avoir un bon volume de terre comme stockage de chaleur

une dalle de chaux de 16 à18 cm avec un lambda de 0.3 environ devrait avoir un R de 0.5 à 0.6 , augmenter en effet un peu le déphasage , ceci n'est pas un inconvénient , le stockage pouvant être plus chaud d'ailleurs

Variateur ventilateur

un variateur électronique est nécessaire pour commander le ventilateur (asservi à la température de la serre): vitesse lente en hiver et rapide en été. Pour diminuer les couts on peu tabler sur un variateur manuel

Concernant le rafraîchissement par les galets , c'est possible à certaines périodes = au début de l'été alors que le stockage est froid sous la dalle : juin-juillet

le tunnel à galets fonctionne pratiquement toute l'année , suivant les périodes saisonnières.