

Histoire d'une réussite

# GreenForges

Créer une révolution dans le secteur agricole à l'aide de logiciels de simulation et de l'expertise du milieu.



**GREENFORGES**

GreenForges développe une technologie d'agriculture durable pour déplacer la production agricole sous terre. Son objectif consiste à accroître la production agricole mondiale, créer de nouvelles possibilités économiques et réduire l'empreinte humaine.

**M**

Aperçu d'une réussite

- Un aperçu précoce des exigences de conception de système HVAC pour des cultures réussies
- Une capacité à projeter les besoins énergétiques et les économies estimés
- Une forte probabilité de réussite du prototype physique final en fonction du prototypage virtuel itératif

## Une soif d'innovation

Face à l'inquiétude croissante que suscitent la stabilité et la sécurité de l'approvisionnement alimentaire mondial et les incidences environnementales de l'agriculture, GreenForges a commencé à chercher des solutions.

La jeune entreprise a trouvé un moyen innovant de surmonter les difficultés liées à la culture des aliments, qu'il s'agisse des engrais et des pesticides, de l'irrigation, des conditions climatiques ou des terres arables.

## Quel est l'avenir de l'agriculture ?

Selon GreenForges, il s'agit des fermes verticales souterraines.



Tous les rendus GreenForges ont été créés par Cameron Thomson

# Un défi croissant

GreenForges propose de fournir « 100 ans de production alimentaire stable et prévisible dans un trou de 1,5 m. » Elle a conçu des puits souterrains verticaux qui ressemblent à des silos à missile.

Ces « forges » abritent des systèmes de culture hydroponique. Des lampes à DEL fournissent les durées et les longueurs d'onde de lumière nécessaires à la croissance des plantes, et un système HVAC maintient la température et l'humidité de l'environnement.

Les légumes verts à feuilles et les herbes aromatiques sont les cultures de premier choix. Leur faible degré de variabilité et leur cycle de récolte court ont permis à l'équipe d'itérer plus rapidement et d'affiner plus rapidement les données et d'optimiser ses processus.

## Défis de conception

Il peut sembler simple de déplacer une installation hydroponique sous terre, mais en fait, la création d'un tel système dans un

« *Plus vous creusez, plus vous réalisez que le projet est complexe. C'est très multidimensionnel du point de vue mécanique et structurel, du point de vue de l'éclairage et surtout du côté horticole.* »

Jamil Madanat

CTO, GreenForges

environnement souterrain est incroyablement complexe. Pour garantir des conditions environnementales propices à la croissance des cultures, les systèmes d'ingénierie structurelle, électrique et mécanique doivent fonctionner correctement et de manière fluide.

En cherchant à créer un environnement contrôlé optimal, GreenForges a trouvé très peu d'informations sur la façon dont les plantes s'acclimatent aux environnements souterrains. L'équipe devait partir de zéro.

## Agriculture urbaine

L'agriculture urbaine existe depuis des décennies. Les jardins communautaires et les serres sur toit sont monnaie courante dans de nombreuses villes.

Les fermes verticales, des environnements intérieurs contrôlés sur plusieurs étages, sont apparues comme une solution intéressante pour maximiser la production de cultures tout en maintenant une faible empreinte écologique.

En déplaçant les fermes verticales sous terre, on pourrait exploiter l'espace situé sous les bâtiments, ce qui localiserait davantage l'agriculture urbaine et réduirait encore plus son incidence environnementale.



## Agriculture en environnement contrôlé

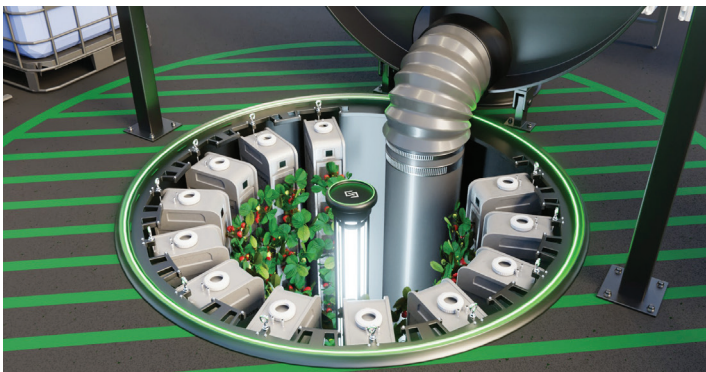
Un système d'agriculture en environnement contrôlé promet de nombreux avantages : un meilleur contrôle des plantes cultivées, des cycles de récolte accélérés et des saveurs plus précises et raffinées.

En outre, l'agriculture en environnement contrôlé utilise moins d'eau, offre des conditions de croissance stables et élimine le besoin de gestion des parasites et des herbicides.

De plus, le fait de ne pas avoir à tenir compte des conditions climatiques, c'est-à-dire produire des aliments tout au long de l'année, quels que soient la saison, les conditions ou le climat, est un autre avantage considérable.

GreenForges a dû relever des défis de conception dans plusieurs domaines :

- **Les modules de culture** devaient pouvoir accueillir des cultures de différentes tailles et fournir efficacement les nutriments et l'eau nécessaires, tout en étant faciles à utiliser et à exploiter.
- **Le mécanisme d'extraction** devait être sécuritaire, facile à utiliser et fiable.
- **Les charges de climatisation** devaient être équilibrées pour créer l'environnement idéal pour les plantes tout au long du cycle de croissance.



Simulation de *Plant Forge*

## Recréer le climat idéal

La nécessité de couvrir les charges de refroidissement produites par les lampes à DEL (chaleur sensible) et l'élimination de l'humidité (chaleur latente).

Équilibrer les charges de climatisation pour créer les conditions de croissance optimales a été une phase incroyablement complexe.

L'équipe a identifié quatre paramètres de climatisation qui devaient être contrôlés et optimisés pour offrir les bonnes conditions de croissance :

- La température
- L'humidité relative
- La vitesse d'air
- Le débit volumique d'air

Mais d'abord, l'équipe de GreenForges devait calculer les charges de climatisation de la forge :

- Charge de refroidissement (sources de chaleur et puits de chaleur)
- Charge de déshumidification (sources d'humidification et déshumidification passive)
- Conception et dimensionnement des conduits

L'équipe s'est vite rendu compte que l'environnement interne d'une forge opérationnelle est en constante évolution, affectée par de multiples facteurs internes et externes, ce qui augmente énormément la complexité du projet.

Par exemple, au fur et à mesure que les plantes grandissent, leurs besoins changent. Cela va de même pour l'effet qu'elles ont sur leur environnement. Au début du cycle de croissance, les plantes ne génèrent presque pas d'humidité, mais au fur et à mesure de

leur croissance, l'évapotranspiration augmente de façon exponentielle, influençant ainsi le taux d'humidité ambiant. De plus, les différentes cultures respirent différemment et ont des besoins différents en matière d'humidité, de température et de lumière.

Le gradient de température du sol environnant (l'environnement externe) représente une autre complexité. À une certaine profondeur (au-delà de sept mètres), la température demeure relativement constante. Cependant, la forge elle-même se rend jusqu'à la surface, traversant des sols de températures et de compositions différentes, créant ainsi un transfert de chaleur. Et puis, il y a l'éclairage nécessaire à la croissance des plantes. La forge utilise des lampes à DEL, mais celles-ci dégagent aussi un peu de chaleur.

## La simulation : la racine de la solution

GreenForges s'est tournée vers la dynamique numérique des fluides (CFD) et Maya HTT pour mieux comprendre les charges de climatisation de la forge et étudier comment les équilibrer.

Elle a utilisé Simcenter 3D, un logiciel d'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) de Siemens Digital Industries Software, pour créer un modèle virtuel d'une ferme verticale et effectuer des simulations de transfert de chaleur et de CFD.

Grâce à Simcenter 3D, GreenForges a pu :

- Étudier le transfert et le flux de chaleur.
- Simuler le transfert de chaleur à différentes profondeurs, avec divers types de sol et divers niveaux d'humidité.
- Prévoir les charges de refroidissement et de déshumidification dans la ferme verticale.

« Dans l'ensemble, l'expérience de collaboration avec l'équipe de Maya HTT a été très positive. Elle était curieuse, accommodante et prompte à communiquer. Je suis impatient de collaborer à nouveau avec ses membres lors de la deuxième phase de simulation. »

Jamil Madanat

CTO, GreenForges

Le facteur de transfert de chaleur est important, et le système HVAC doit être capable de le gérer et de faire remonter efficacement l'air chaud.



## Première phase de simulation

Dans la première phase de simulation, GreenForges espérait trouver des réponses à deux questions primordiales concernant la conception des conduits :

- 1 Quelles sont les charges de chaleur et de déshumidification nécessaires pour dimensionner les unités HVAC?
- 2 La conception actuelle est-elle suffisante pour supporter les charges?

## Réponses et économies

La simulation de la condensation était indispensable pour comprendre :

- Comment dimensionner la pompe située au fond de la forge, qui doit pomper en permanence l'eau de condensation pour recycler l'eau et éviter les inondations.
- Quelle puissance finale (puissance électrique) l'unité HVAC devrait avoir pour assurer une climatisation adéquate.

Les résultats de la simulation ont suggéré que la conception de la forge pouvait permettre de réaliser des économies d'énergie considérables par rapport aux fermes en surface, et ce de trois manières :

- 1 Par la perte de chaleur vers le sol.
- 2 Par la collecte et le recyclage des condensats d'humidité.
- 3 Par la condensation de la surface du tubage due à la différence de température entre l'acier et le sol.

## Correction des hypothèses de charge critique

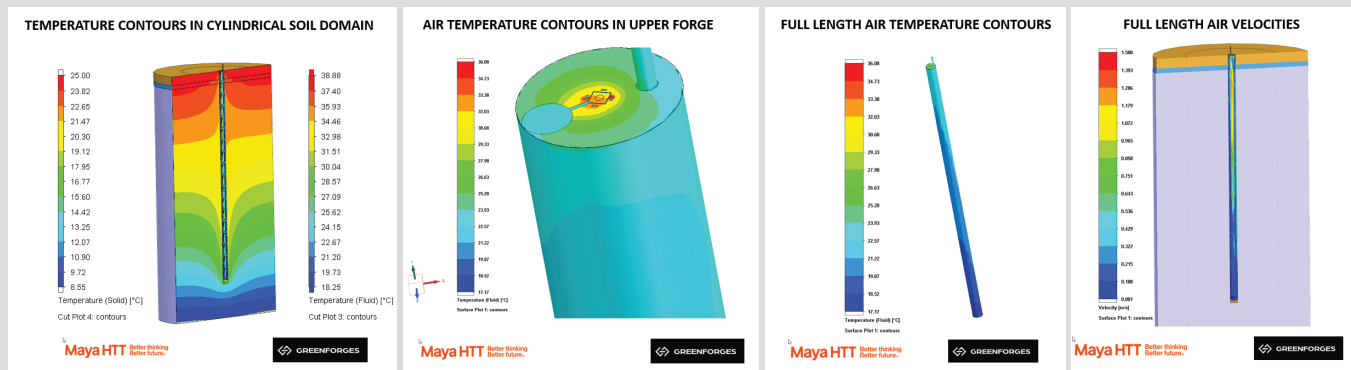
La simulation a permis de faire un constat critique sur le débit volumique d'air. Le débit présumé était insuffisant pour extraire l'humidité de manière adéquate (et un environnement trop humide aurait conduit à l'échec du cycle de culture).

À partir des résultats de la simulation, l'équipe a apporté deux changements majeurs à la conception :

- Augmenter le diamètre de la forge de 1 m à 1,5 m pour intégrer un conduit de plus grande taille.
- Réduire la profondeur de la forge de 2,5 m à 1,2 m pour réduire la charge sans sacrifier la taille des conduits et la croissance des plantes.

La simulation a également montré qu'un mauvais mélange de l'air entraînerait des écarts de température plus importants dans la forge, ce qui donnerait des résultats incohérents en termes de culture.

Il s'agissait là aussi d'un constat critique qui a conduit à une modification majeure de la conception : les conduits d'entrée et de sortie seront conçus avec des perforations pour assurer un mélange d'air adéquat sur toute la longueur de la forge. En outre, des ventilateurs à turbulence seront ajoutés pour renforcer le mélange d'air.



## Deuxième phase de simulation

Dans la phase de simulation suivante, l'équipe créera une nouvelle conception et simulera la distribution de la chaleur dans la forge pour s'assurer que la taille du conduit et le débit volumique d'air sont suffisants pour maintenir une distribution homogène de la température et de l'humidité relative dans toute la forge.

À partir de ces essais, l'équipe espère être en mesure d'établir les conditions de fonctionnement optimales tout au long du cycle de croissance des plantes.

## Partenaires d'expertise en transfert de chaleur et CFD

L'expertise de Maya HTT a été déterminante pour obtenir et interpréter les résultats de la simulation CFD. L'équipe a contribué à la simulation du transfert de chaleur à différents niveaux du sol pour différents types de sol et différents niveaux d'humidité.

« **Maya HTT nous a permis de mieux comprendre comment climatiser l'environnement souterrain.** »

Jamil Madanat  
CTO, GreenForges



Simulation de *Fungi Forge*

« **GreenForges ne pouvait pas creuser 50 trous pour tester ses systèmes. Nous avons donc aidé leur équipe à percer 50 trous dans un environnement virtuel à l'aide d'un logiciel et à examiner les performances mécaniques et thermiques ainsi que la distribution de l'air. GreenForges sera ensuite prête à creuser des trous, elle n'aura qu'à en percer quelques-uns, car la probabilité de réussite de la conception sera beaucoup plus élevée grâce au prototypage virtuel.** »

Carl Poplawsky

Responsable des services d'ingénierie, Maya HTT

## Essai et intégration de sous-systèmes

Tester un prototype physique de l'ensemble du système d'agriculture souterraine ne serait pas pratique pour un grand nombre de combinaisons de paramètres. Creuser plusieurs trous et les équiper de tous les composants internes serait d'un coût prohibitif. Ce n'est pas une façon viable de tester le système.

Tout d'abord, GreenForges a adopté une approche d'essai par sous-système, en menant des expériences en parallèle dans plusieurs laboratoires. Elle s'est ensuite tournée vers la simulation pour valider ses hypothèses sur deux questions techniques centrales :

- Quelle quantité de chaleur ce sol absorbe-t-il pendant le cycle diurne ?
- Quelle quantité de chaleur conserve-t-il pendant le cycle nocturne ?

Les résultats ont permis à l'équipe d'obtenir les connaissances nécessaires pour construire en toute confiance les bases de leur conception.

« **Ce n'était pas facile, mais c'était la meilleure approche pour obtenir une conception plus complète.** »

Jamil Madanat  
CTO, GreenForges

# Avantages

## Le produit

La simulation a aidé GreenForges à itérer une conception préliminaire. La simulation CFD et le prototypage virtuel ont permis d'accélérer le développement et de réduire les dépenses et le temps consacrés à la création de multiples prototypes physiques. Le prototypage virtuel remplace efficacement le grand nombre d'essais physiques qui seraient nécessaires au bon développement du projet.

Bien que la conception finale doive encore être testée physiquement, le prototypage virtuel garantit que, lorsqu'elle sera testée, elle aura une forte probabilité de succès.

L'essai de la conception et des conditions de culture avec un système à petite échelle sur la surface a été un succès. Après une première récolte réussie, un premier repas savoureux et la signature d'un premier client, GreenForges est sur la bonne voie pour lancer ses premières installations à grande échelle à la fin de 2023.

« Ce n'est pas en faisant un calcul de coin de table que l'on arrive à concevoir ce type de dynamique ou de comportement de la distribution de la température sous terre dans différentes compositions de sol. C'est là que l'équipe de Maya HTT s'est montrée extrêmement utile pour nous aider à comprendre l'environnement souterrain. »

Jamil Madanat

CTO, GreenForges

Il s'agit d'une réalisation importante en l'espace d'un peu plus de trois ans. Le projet de GreenForges est passé d'une théorie approximative à une culture réussie de pommes de laitue grâce à la simulation CFD et à Maya HTT. GreenForges a l'intention de continuer à innover afin d'offrir d'autres excellents résultats pour une agriculture durable et un monde meilleur.

## À propos de Maya HTT

- Développeur de logiciels de premier plan et fournisseur de services d'ingénierie assistée par ordinateur (IAO), de conception assistée par ordinateur (CAO), de fabrication assistée par ordinateur (FAO), et de gestion du cycle de vie des produits (PLM)
- Vaste expérience en matière d'intelligence artificielle (IA) appliquée, d'intégration des données d'Ide industriel, et d'applications à faible code et sans code
- Spécialisation en mécatronique, en analyse des échanges de chaleur, des fluides et des structures ainsi que des matériaux composites
- Partenaire technologique, éditeur de logiciels et fournisseur de solutions Siemens IAO/CAO/FAO/PLM depuis plus de 30 ans
- Assistance technique spécialisée pour les clients à l'échelle mondiale

Expert  
Partner

Digital Industries Software

SIEMENS