INTERACTIF

N°80
NOVEMBRE
2019

CENTRE DAM - ÎLE DE FRANCE / LE JOURNAL INTERNE

DOSSIER

Terathermie

le supercalculateur Tera chauffe le centre

RENCONTRE
LOÏC YOUINOU, EN MISSION À ALDERMASTON POUR LE PROJET EPURE

ÉVÉNEMENT
EXERCICE-INCENDIE AU BÂTIMENT D : LE PPI DÉCLENCHÉ

ICI
JOLIOT-CURIE : LA RECHERCHE SE DOTE D'UN NOUVEAU SUPERCALCULATEUR

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

TERATHERMIE : LE SUPERCALCULATEUR TERA CHAUFFE LE CENTRE

Denis Barberi
(DSTG/STL)

Jean-Marc Ducos
(DSSI/SISR)

Éric Gaultier
(DP2I/SIA)

Julian Quéré
(DP2I/SIA – stagiaire)

DÉVELOPPEMENT DURABLE
Néologisme formé par la combinaison des mots « Tera » (les calculateurs de la DAM depuis Tera 1 en 2001) et « thermie » (chaud en grec ancien), la Terathermie est le principal fournisseur de chauffage du centre DAM Île-de-France depuis l'hiver 2018.

La Terathermie est un système qui récupère la chaleur contenue dans le circuit d'eau de refroidissement du calculateur Tera 1000[1], pour l'injecter dans le réseau de chauffage du centre. Ce procédé permet aujourd'hui de chauffer l'ensemble des bâtiments du site de Bruyères-le-Châtel (à l'exception des bâtiments D, DAM et Sables, ainsi que du TGCC[2] qui disposent de leurs propres chaufferies). Déjà imaginée en 2010 au moment de l'installation de Tera 100, la mise en œuvre de cette innovation ne pouvait être envisagée qu'à condition que les supercalculateurs atteignent une puissance suffisante et évoluent vers des régimes de refroidissement des processeurs avec de l'eau tiède.

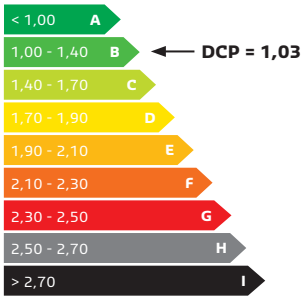
Jusqu'en 2018, 36 à 37 % des besoins en chauffage du centre étaient fournis, en appoint à la chaufferie centrale, par une installation de géothermie. Elle puisait sa source (eau chaude) à 750 mètres dans la nappe profonde du Néocomien[3]. Suite au lancement du projet Terathermie, le centre DAM Île-de-France a pris l'engagement, lors du renouvellement de son Autorisation de rejets et prélèvements d'eau (ARPE), de diminuer les prélèvements dans cette ressource dite « stratégique » et à très faible renouvellement, en les limitant à un usage d'eau potable et industrielle.

Des calculateurs toujours plus puissants à refroidir

Les besoins croissants de la DAM en puissance de calcul pour répondre aux objectifs du programme Simulation l'ont conduite à se doter de supercalculateurs de plus en plus performants, mais gourmands en énergie. Avec la mise en exploitation des deux dernières générations (Tera 100 puis Tera 1000), le besoin d'électricité pour alimenter le centre de calcul a marqué un tournant. En 2010, Tera 100 nécessitait 5 MW[4] pour une puissance de calcul de 1,25 pétaflops[5]. Si l'on avait répliqué la même architecture de machine pour Tera 1000 (27,5 pétaflops), le supercalculateur aurait requis une puissance de l'ordre de 100 MW. Et pour une machine de classe exaflopique[6] (le prochain calculateur de la DAM sera plusieurs centaines de fois plus puissant que Tera 100), il aurait fallu alors déployer plus de 1000 MW, soit l'équivalent d'un réacteur de centrale nucléaire[7] ! La maîtrise de l'efficacité énergétique est donc devenue un enjeu incontournable pour l'exploitation et l'évolution des centres de calcul : actuellement, la puissance électrique nécessaire pour alimenter le centre de calcul Tera 1000 est d'environ 4 MW, soit l'équivalent d'une ville de 10 000 habitants.

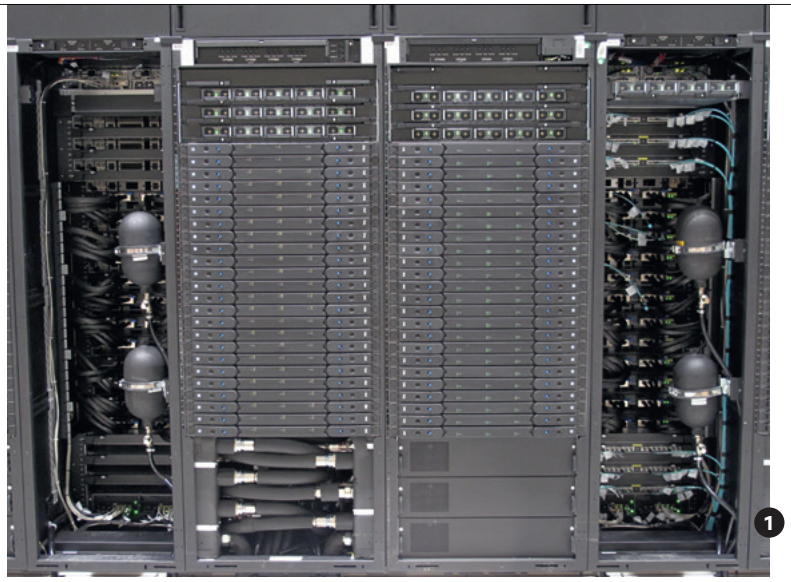
En collaboration avec l'industriel français Atos-Bull, le fabricant de la machine, le CEA a mis en place une démarche d'optimisation de l'énergie consommée pour son complexe de calcul, articulée autour de trois axes principaux : la sobriété énergétique (ne consommer que l'énergie nécessaire), l'efficacité énergétique (mieux consommer l'énergie) et la valorisation énergétique (réutiliser la chaleur).

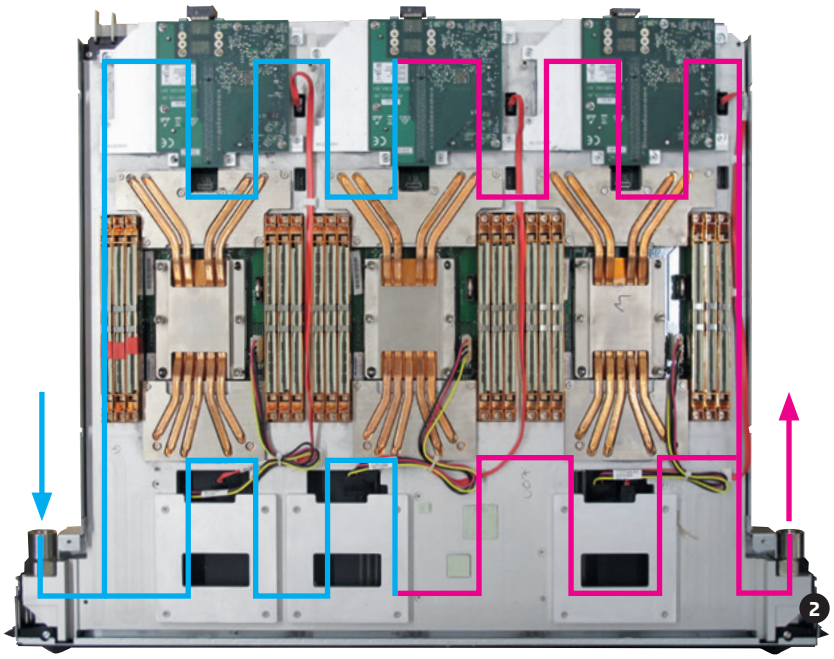
CLASSÉ "B" EN TERMES DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE



Conformément aux directives européennes, un indicateur permettant de définir la classe de performance énergétique d'un centre de calcul a été élaboré : le *Data Center Performance* (DCP). Cet indicateur est déterminé en fonction de trois critères :
- le niveau d'efficacité énergétique,
- la part d'énergie réutilisée,
- la part d'énergie dite renouvelable utilisée.

Outre le très bon niveau d'efficacité énergétique du centre de calcul, la récupération de chaleur réalisée en 2019 avec la Terathermie permettra à Tera d'obtenir un excellent DCP en affichant une classe de performance B.





La Terathermie a permis de couvrir 66 % des besoins de chauffage du centre pour l'hiver 2018/2019.

❶ ***Dans les calculateurs Bull-Sequana d'Atos, les lames de calcul sont superposées les unes au-dessus des autres. Le circuit de refroidissement, en partie basse de la cellule, permet de distribuer le liquide de refroidissement dans chaque lame.***

❷ ***L'eau tiède (41 °C) entre dans la lame par un embout clipsable, passe dans la plaque d'aluminium pour refroidir au plus près les processeurs et les mémoires, puis ressort de la lame par l'embout situé à l'autre extrémité de la lame de calcul. Sa température est alors de 45 °C.***

1/ Tera 1000 est composé de deux partitions : Tera 1000-1 et Tera 1000-2.
2/ Très grand centre de calcul du CEA.
3/ L'Albien-Néocomien est une nappe d'eau souterraine captive profonde contenant des réserves d'eau de bonne qualité, estimées à 655 milliards de m³. Elle s'étend sur tout le bassin parisien, de la Champagne à la Normandie et de la Picardie à la Beauce.
4/ Mégawatts.
5/ 1 pétaflops : un million de milliards d'opérations par seconde.
6/ 1 exaflops : un milliard de milliards d'opérations par seconde.
7/ Les réacteurs d'EDF les plus répandus ont une puissance électrique de 900 MW.
8/ Département sciences de la simulation et de l'information.

C'est dans le cadre de cette troisième composante que s'inscrit la Terathermie, qui permet de récupérer et ré-exploiter la chaleur issue du supercalculateur Tera 1000.
Avec Tera 1000, les serveurs de calcul sont devenus plus compacts et plus denses. Entre Tera 100 et Tera 1000, la puissance de calcul a été multipliée par 20 et la surface au sol divisée par deux : le ratio de densité (flops/m²) a donc été multiplié par 40. De cette nouvelle architecture, conçue par Atos-Bull en collaboration avec le DSSI[8], a découlé la nécessité de mettre en œuvre un système de refroidissement par eau très performant : le *Direct Liquid Cooling* (DLC). Le principe de cette technologie est de dissiper les calories en faisant circuler de l'eau tiède au plus proche des composants électroniques (notamment les processeurs dont la température de fonctionnement est de 70 °C) en utilisant des plaques d'échange thermique dans lesquelles chemine le liquide de refroidissement. Chaque baie de calcul possède ainsi un système de refroidissement interne dans lequel l'eau circule en circuit fermé et est régulée pour un régime de température de 41 °C en entrée et de 45 °C en sortie.

Le parcours de l'eau de chauffage sur le centre

Mise en service à l'hiver 2018, l'installation Terathermie contribue, en complément des trois chaudières à gaz préexistantes, à chauffer le site CEA de Bruyères-le-Châtel.
Mais comment cette installation fonctionne-t-elle ? Suivons le parcours de l'eau depuis le supercalculateur jusqu'au radiateur de notre bureau. L'eau ressort des calculateurs à 44 °C et se dirige vers un local technique où se situe un premier échangeur. S'y rencontrent deux circuits distincts : un circuit primaire (celui qui vient des calculateurs) et un circuit secondaire. La chaleur est alors transmise d'un réseau à l'autre. Notons que chacun de ces deux réseaux forme une boucle fermée : leurs eaux ne se mélangent à aucun moment. Il en sera de même pour les réseaux suivants. En sortie d'échangeur, l'eau du circuit secondaire est transportée vers le local des pompes à chaleur *via* des pompes qui poussent l'eau dans les réseaux extérieurs calorifugés. Les pompes à chaleur élèvent alors l'eau du circuit secondaire à une température maximale de 66 °C, qui permet le meilleur rendement de l'installation. Pour faire bénéficier le réseau de chauffage du centre de cette chaleur acquise progressivement, un échangeur est à nouveau nécessaire.
Néanmoins, cette installation n'est pas suffisante lorsque les températures extérieures sont inférieures à 5 °C car l'installation Terathermie ne peut alors pas assurer une température d'eau de chauffage optimale, pouvant aller jusqu'à 90 °C lorsque les températures →

⟶ sont négatives. Ce sont alors les chaudières à gaz qui assurent le complément énergétique. L'installation est fonctionnelle lors de la période de chauffe, qui s'étend de mi-octobre à mi-mai.
Lors de la saison estivale, il n'y a plus besoin de chauffage. L'eau de refroidissement de Tera est alors dirigée vers les tours aéro-réfrigérantes qui refroidissent le réseau en dissipant dans l'air les calories excédentaires.
Pour sa première saison de chauffe, et avec une puissance de 2,2 MW fournie par Tera 1000, la Terathermie a produit 8 600 MWh[8] de chauffage. Cette production a permis de couvrir 66 % des besoins du périmètre concerné du centre DAM Île-de-France pour l'hiver 2018/2019. La Terathermie a ainsi permis de faire des économies de gaz et d'améliorer l'empreinte carbone du centre en diminuant ses rejets de CO_2 dans l'atmosphère. Des économies substantielles d'eau – environ 300 000 litres d'eau potable – ont également été réalisées en passant de la géothermie à la Terathermie.

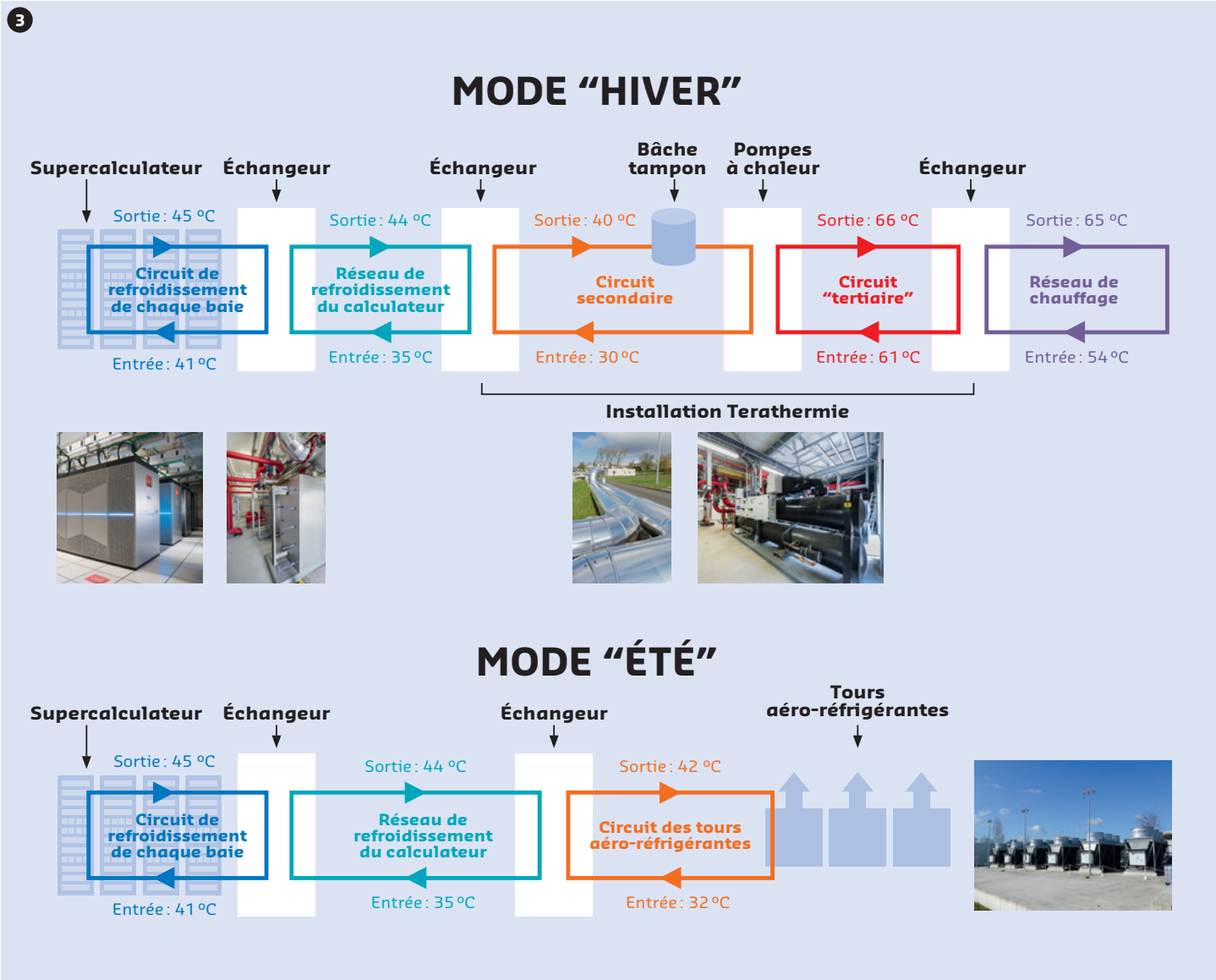
Trois départements impliqués dans l'équipe projet

La faisabilité du projet a été établie par les équipes du DP2I[9] en 2012 et suivie d'études détaillées afin de préparer la contractualisation des marchés de travaux. Les travaux, d'une durée de deux ans, ont démarré en 2017 : il s'agissait que l'installation soit opérationnelle au moment du démarrage de Tera 1000-2. Créer cette installation a exigé la collaboration active des équipes des départements DP2I et DSSI et du Service technique et logistique (STL) du DSTG[10], afin de prendre en compte l'ensemble des contraintes techniques.
Par exemple, ce projet nécessitait que les différents réseaux soient bien distincts les uns des autres. En effet, l'eau de refroidissement des calculateurs requiert des exigences de qualité (pureté, absence de particules de fer…) largement supérieures à celles du réseau de chauffage. De plus, séparer les réseaux permet d'intervenir sur chacun d'eux indépendamment et facilite ainsi le maintien en condition opérationnelle de l'ensemble de l'installation. Difficulté supplémentaire à prendre en compte par les techniciens : les bâtiments où sont installés le calculateur Tera, les pompes à chaleur et la chaufferie centrale ne sont pas situés les uns à côté des autres. Il a donc fallu

❸ ***Schéma de principe de la Terathermie.***

❹ ***En sortie de pompe à chaleur, l'eau est distribuée vers le réseau de chauffage à la chaufferie centrale.***

❺ ***La bâche tampon sert de réservoir de chaleur : elle permet d'éviter les variations de température liées aux fluctuations de production de Tera.***



Ordres de grandeur

Consommation de gaz du centre **avant** la Terathermie* :

15 000 MWh/an

= consommation de gaz pour 1 400 foyers

Consommation de gaz du centre **avec** la Terathermie* :

6 000 MWh/an

= consommation de gaz pour 560 foyers

Diminution des rejets de CO_2 dans l'atmosphère :

1 700 Tec**

= 3 allers-retours Paris/New-York d'un Airbus A330

** Hors bâtiments D, Sables, DAM et TGCC et sans la géothermie*
*** Facteur de conversion pour les Tec (tonnes équivalant carbone) : 1 Tec = 5 MWhgaz*

construire un nouveau bâtiment pour héberger les pompes à chaleur et poser 1,2 km de réseaux extérieurs calorifugés pour relier les trois installations.
En amont de sa mise en service à l'hiver 2018, la responsabilité de l'installation Terathermie a été confiée au STL. Pour cela, une formation a été dispensée par le constructeur aux équipes du STL et à celles du titulaire du contrat de maintien en condition opérationnelle.

Cap sur une montée en puissance

De nouvelles perspectives attendent encore la Terathermie. Pendant la saison de chauffe qui commence, l'exploitant devrait en améliorer le fonctionnement de façon à produire davantage de calories, grâce à une interconnexion (remontée d'informations, automatisation, coordination) toujours plus forte entre les trois installations (Tera 1000, pompes à chaleur, chaufferie centrale) pour prendre en compte le besoin et la demande de chaque installation. De plus, la Terathermie est dimensionnée pour une puissance plus importante que celle fournie aujourd'hui par Tera 1000. La puissance maximale de l'installation sera atteinte une fois qu'EXA 1, le prochain calculateur de la DAM (environ 6 MW pour la première tranche), sera installé. Le centre pourra alors couvrir ses besoins plus de 90 % du temps dès la saison de chauffe 2021-2022.
Émissions de CO_2 diminuées, bilan carbone amélioré, la Terathermie joue pleinement son rôle dans l'engagement du CEA quant à l'utilisation d'énergies alternatives et dans sa démarche environnementale en faveur du développement durable.

8/ 1 mégawattheure correspond à l'énergie fournie par une puissance de 1 mégawatt pendant une heure.
9/ Département projets et ingénierie des installations.
10/ Département sécurité, technique et gestion.