

nants sont réutilisées sous forme d'engrais après stérilisation, notamment... par l'agriculture biologique.

La troisième catégorie comporte les déchets de découpe en abattoirs d'animaux sains destinés à la consommation humaine (ruminants – hors matières à risque spécifique –, porcs, volailles). De même qualité sanitaire (ils sont écartés seulement pour des raisons commerciales), ils sont traités par espèces dans des centres de valorisation distincts des centres d'équarrissage : les protéines animales transformées récupérées après déshydratation et séparation des graisses constituent une farine destinée à l'alimentation des animaux de compagnie.

Dès 2004, du fait de la disparition progressive de l'ESB, les Académies vétérinaire et d'agriculture de France ont envisagé une utilisation de ces protéines dans l'alimen-

tation des poissons et crustacés, des volailles et des porcs (la question ne se pose évidemment plus pour les ruminants). Par précaution, elles devraient être réservées à la seule alimentation de ces espèces, où aucune encéphalopathie transmissible n'a été signalée, et en aucun cas introduites dans la nourriture de l'espèce dont elles proviennent. En outre, un contrôle rigoureux de la fabrication de ces produits devrait être exercé, tant en France que sur les échanges internationaux, notamment en imposant une séparation stricte des filières par espèce de provenance.

La levée de l'interdiction restituerait une liberté économique aux différents acteurs des filières. Les éleveurs en particulier, privés d'une source de protéines locale, la remplacent par des denrées végétales d'importation, notamment du soja (parfois trans-

génique), et sont donc tributaires des cours du marché : fin 2010, une tonne de tourteau de soja coûtait 340 euros, alors que le prix de revient d'une tonne de protéines animales transformées serait de 35 euros. En outre, on arrêterait un gaspillage insensé de protéines d'excellente qualité.

Grâce à ces mesures, les protéines animales transformées seront différentes des farines animales d'avant 1996. Leur contrôle sera celui réalisé pour les parties destinées à la consommation humaine. ■

Jeanne BRUGÈRE-PICOUX est professeur à l'École nationale vétérinaire d'Alfort et membre de l'Académie vétérinaire de France.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

La gestion énergétique des salles informatiques

La climatisation des centres informatiques nécessite beaucoup d'électricité.

Pour réduire la consommation et augmenter l'efficacité, plusieurs solutions ont vu le jour.

Dominique BOUTIGNY

L'explosion des technologies de l'information a entraîné un développement considérable des centres de traitement des données. De même, le calcul intensif pour les sciences ou la technologie met en œuvre des supercalculateurs de plus en plus nombreux et puissants, hébergés dans des salles informatiques adaptées.

À cet accroissement du nombre et de la puissance des centres informatiques est associée une augmentation de la consommation électrique, en particulier pour maintenir le matériel à une température assez basse pour son bon fonctionnement.

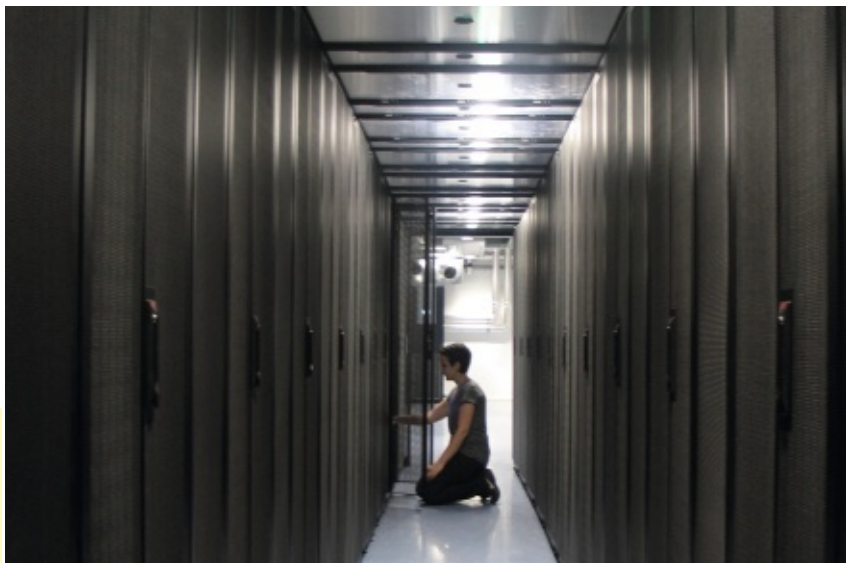
La consommation mondiale d'électricité était en 2008 de l'ordre de 17 000 térawatt-

heures, et l'on estime la consommation pour l'informatique en cette même année à quelque 900 térawattheures. La part de l'informatique ne représente donc qu'environ cinq pour cent du total. Cependant, à l'échelle de chaque centre informatique, l'accroissement de la consommation est devenu un casse-tête non seulement pour maîtriser les coûts, mais aussi pour concevoir les techniques de refroidissement appropriées.

L'approche retenue il y a une dizaine d'années pour augmenter la puissance de calcul des serveurs reposait sur l'augmentation de la fréquence de fonctionnement des processeurs. Or il s'ensuit une augmentation considérable de la consommation électrique de ceux-ci et, du même coup,

l'apparition d'une problématique de plus en plus complexe au niveau des infrastructures des salles informatiques. Il y a dix ans, une salle informatique ordinaire hébergeait des armoires-serveurs qui dégageaient un ou deux kilowatts de chaleur par mètre carré au sol. Le refroidissement était assuré par de l'air froid soufflé à travers un faux plancher, qui servait également de gaine technique pour le passage des câbles. Ce type de refroidissement impliquait donc une climatisation de l'ensemble de la salle des machines, puisque l'air chaud des serveurs était rejeté directement dans la pièce.

Désormais, avec l'augmentation de la fréquence des processeurs et la densification des serveurs, la chaleur dégagée peut



LA TECHNIQUE « IN ROW » A NOTABLEMENT AMÉLIORÉ LA GESTION ÉNERGÉTIQUE des salles informatiques. Dans cette approche, les unités de climatisation sont insérées entre les armoires-serveurs, au sein d'une même rangée. Par ailleurs, l'air chaud dégagé est confiné dans un couloir fermé entre deux rangées, ce qui évite de le mélanger à l'air ambiant de la salle.

atteindre 10 à 15 kilowatts par mètre carré pour une armoire de serveurs pleine. Il devient alors presque impossible de souffler efficacement l'air par le faux plancher pour refroidir tous les serveurs.

Parallèlement à ces problèmes de refroidissement, la consommation électrique globale augmente et il est fréquent de voir des salles de quelques centaines de mètres carrés dépasser le mégawatt de puissance électrique, quand les systèmes d'alimentation et de distribution le permettent.

L'efficacité de l'utilisation de l'énergie électrique est mesurée par le rapport entre la puissance électrique totale fournie (qui comprend l'énergie nécessaire au refroidissement) et la puissance de traitement informatique. Pour les grandes salles de machines, ce rapport, nommé PUE (pour *Power Usage Effectiveness*), atteint 1,7 à 1,8, voire plus.

Ces cinq dernières années, une double prise de conscience a eu lieu, d'une part du côté des fabricants, d'autre part du côté des concepteurs de salles informatiques. Les premiers se sont efforcés de réduire la consommation électrique des serveurs tout en améliorant la conception des châssis, pour optimiser les flux d'air. Les seconds

ont commencé à proposer des solutions de refroidissement plus efficaces.

Les fabricants ont limité la fréquence des processeurs et diminué leur tension de fonctionnement, ce qui a réduit de 30 pour cent par an la consommation électrique, à puissance informatique constante. Par ailleurs, l'augmentation de la capacité des disques durs (de 500 gigaoctets il y a cinq ans à deux téraoctets aujourd'hui pour des serveurs de stockage ayant à peu près même la consommation) a abaissé notablement le coût d'alimentation électrique et de climatisation du téraoctet de stockage.

Confiner l'air chaud entre les rangées d'armoires refroidies

Du côté des salles informatiques, l'amélioration décisive est venue des systèmes d'armoires refroidies et de confinement des allées chaudes (technique « in row », *en rangée*). Dans cette approche, les serveurs sont montés dans des rangées d'armoires et rejettent l'air chaud dans un couloir confiné séparant deux rangées. Cet air chaud est traité au plus près de sa production par des unités

de climatisation insérées entre deux armoires de serveurs. Il suffit alors d'une climatisation légère pour maintenir la température ambiante de la salle informatique.

La technique du confinement des allées chaudes, alliée aux dernières générations de groupes froids, a permis de ramener le PUE des salles informatiques ainsi équipées à des valeurs proches de 1,3. Les faux planchers soufflants deviennent alors superflus, d'où des salles moins coûteuses, capables de supporter des poids d'armoires de serveurs plus importants et, surtout, de disposer d'un câblage et d'une tuyauterie propres et accessibles, les services (courants forts, courants faibles, eau glacée) étant installés au niveau du plafond de la salle.

Pour aller plus loin, deux approches sont possibles. Celle qui a été mise en œuvre au Centre de calcul du CNRS/IN2P3 est de récupérer la chaleur des serveurs informatiques pour la mettre à la disposition des bâtiments voisins de l'Université Lyon 1. Cette démarche est particulièrement pertinente dans le contexte du *Plan campus* qui prévoit la construction de nouveaux bâtiments dont le système de chauffage peut être adapté à des températures d'eau chaude dans la gamme 50-55 °C.

L'autre approche est le « free cooling », qui consiste à utiliser au maximum l'air extérieur pour refroidir les serveurs. Ces derniers doivent alors fonctionner à des températures plus élevées et moins stables, mais qui restent dans un domaine acceptable. Cette technologie a été mise en œuvre avec succès au Laboratoire de physique subatomique et cosmologie du CNRS/IN2P3, à Grenoble, pour une salle informatique de taille moyenne. Pour les très grands centres de calcul, le tout « free cooling » est possible au prix de systèmes de captation de l'air extérieur de grandes dimensions, permettant un renouvellement d'air très important dans les salles informatiques. C'est aujourd'hui la seule voie connue pour atteindre des PUE inférieurs à 1,1. ■

Dominique BOUTIGNY est directeur du Centre de calcul de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS, à Villeurbanne.

À découvrir en kiosque et sur www.pourlascience.fr



Mayas, Aztèques, Incas... Mais aussi Olmèques, Inuits, Cheyennes... l'être humain a conquis l'Amérique du cercle arctique à la Terre de Feu et y a fondé de nombreuses civilisations et cultures. La plupart font encore rêver aujourd'hui. Comment sont-elles apparues ? Comment fonctionnaient-elles ? Ont-elles vraiment disparu ? Ce Dossier retrace l'histoire, entre grandeur et décadence, des peuples d'Amérique.

→ Feuilletez les premières pages sur pourlascience.fr