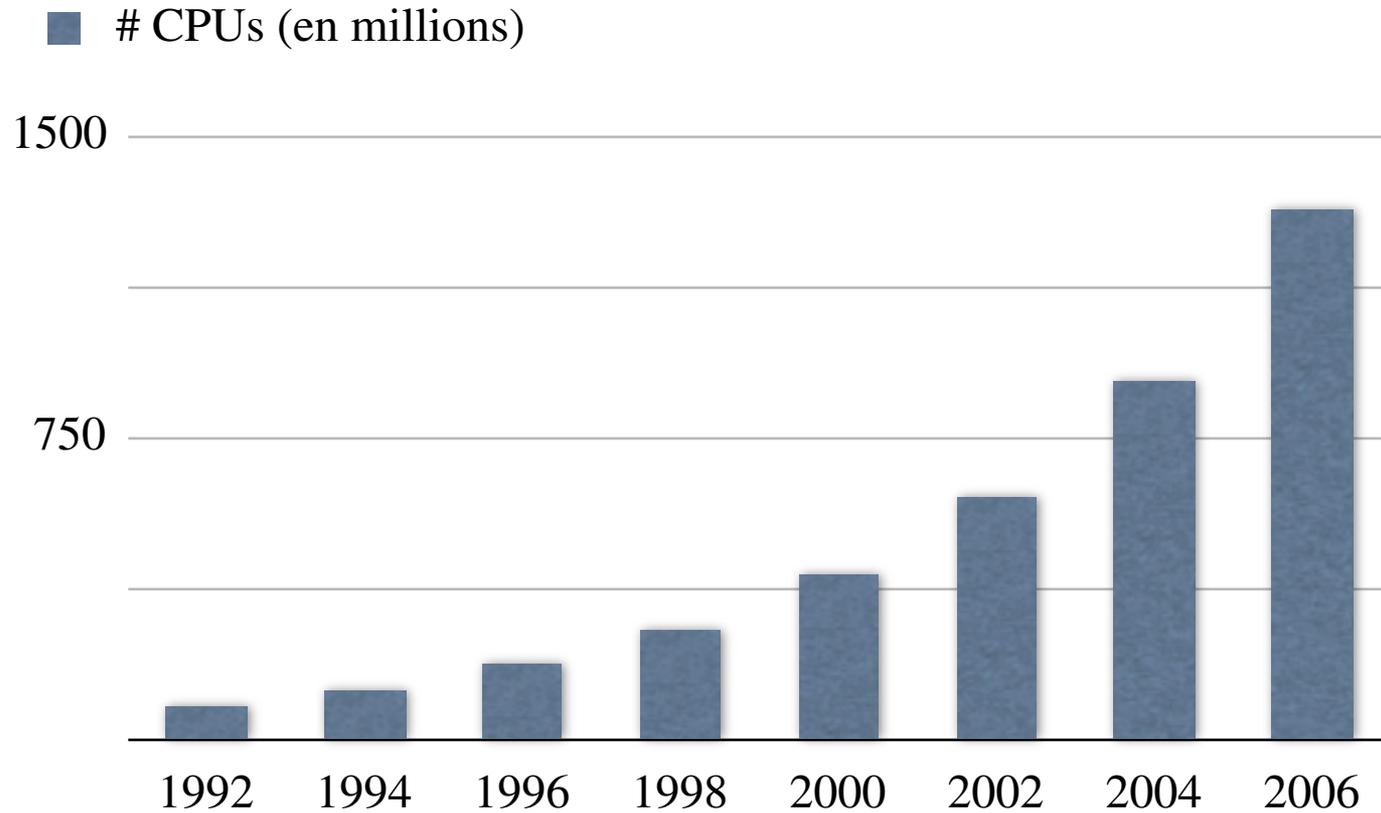




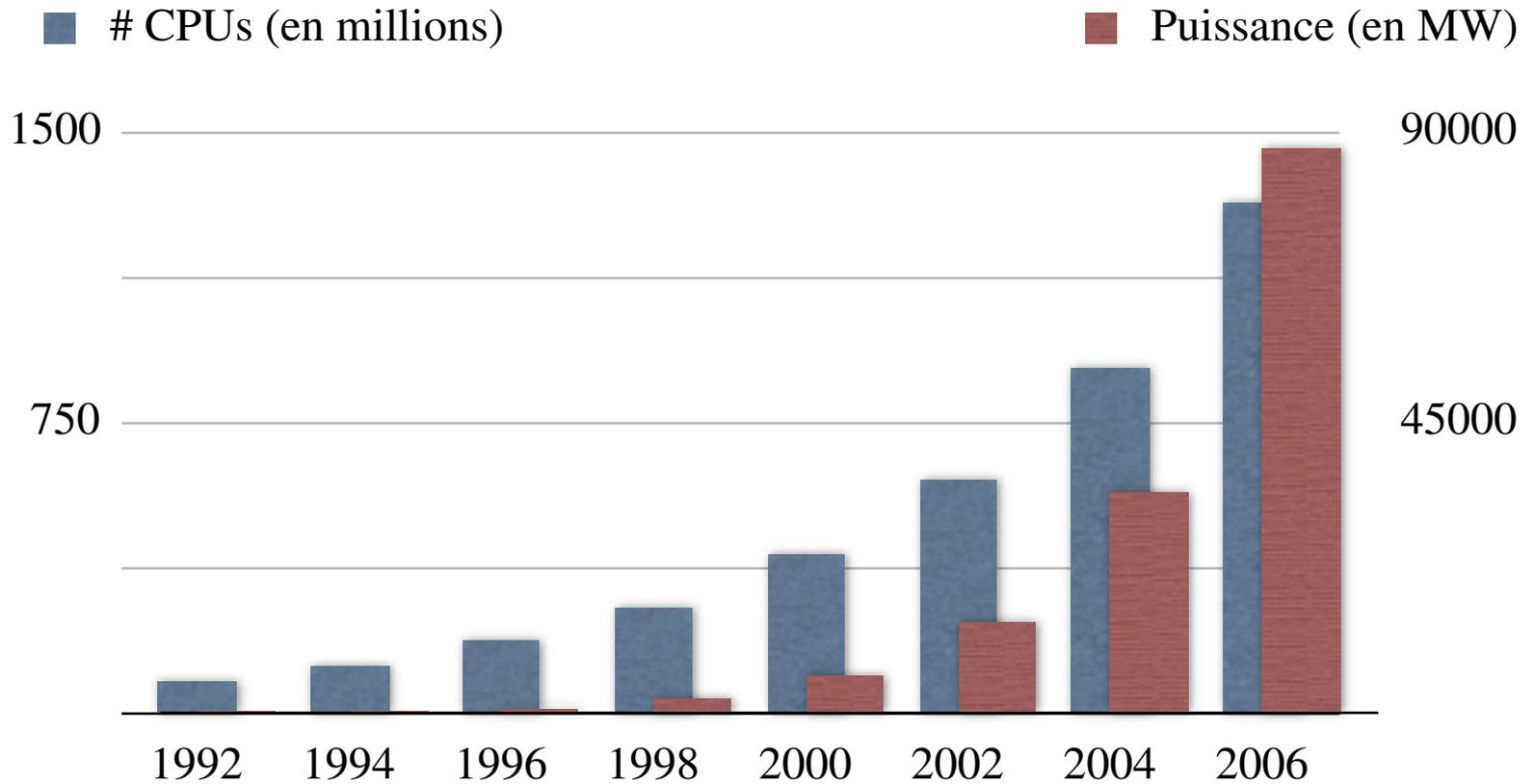
Le projet GREEN

G.-M. Rignanesse

Consommation mondiale des CPUs



Consommation mondiale des CPUs





Economisons l'énergie... *ensemble*

<http://www.uclouvain.be/energie.html>

Le calcul haute performance passe au vert



Une approche globale
de l'efficacité énergétique

Le calcul haute performance passe au vert



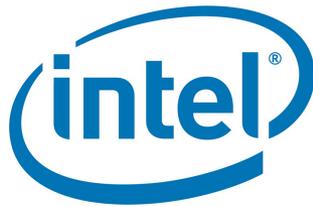
Le calcul haute performance passe au vert



Une approche globale
de l'efficacité énergétique



Le calcul haute performance passe au vert



Protecting today to create
a better tomorrow together



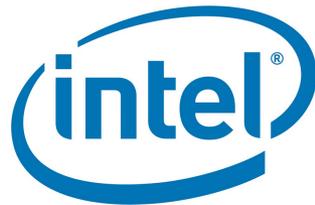
Le calcul haute performance passe au vert



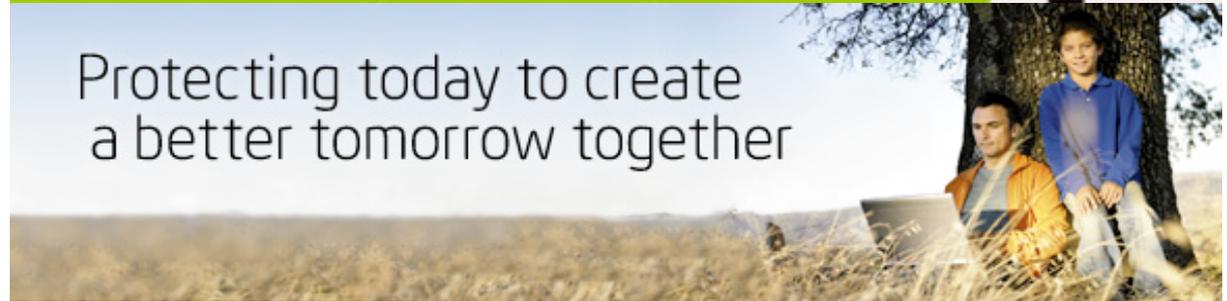
Une approche globale
de l'efficacité énergétique



Le calcul haute performance passe au vert



Protecting today to create
a better tomorrow together



A Greener Apple

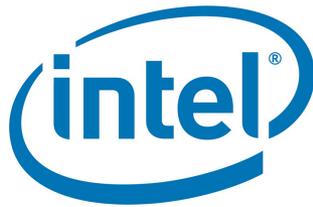
Le calcul haute performance passe au vert



Une approche globale
de l'efficacité énergétique



Le calcul haute performance passe au vert



Protecting today to create
a better tomorrow together



A Greener Apple



Innovating to Improve the Planet



Le calcul haute performance passe au vert



Striving to be the **Greenest Technology Company on the Planet**



Get a head-start
on greener,
higher-performance,
lower-cost computing



IBM BIG GREEN INNOVATIONS

Impacting the world with thoughtful innovation



Shared innovation enables
smart, sustainable growth.



Performance calculatoire

- Soit D la **durée d'exécution** d'un benchmark sur un type de processeur (coeur) donné.

Performance calculatoire

- Soit D la **durée d'exécution** d'un benchmark sur un type de processeur (coeur) donné.
- Soit N le **nombre de milliards d'opérations à virgule flottante** dans le benchmark.

Performance calculatoire

- Soit D la **durée d'exécution** d'un benchmark sur un type de processeur (coeur) donné.
- Soit N le **nombre de milliards d'opérations à virgule flottante** dans le benchmark.
- La **vitesse** V (en Gflops) peut s'écrire:

$$V = \frac{N}{D}$$

Performance calculatoire

- Soit D la **durée d'exécution** d'un benchmark sur un type de processeur (coeur) donné.
- Soit N le **nombre de milliards d'opérations à virgule flottante** dans le benchmark.
- La **vitesse** V (en Gflops) peut s'écrire:
$$V = \frac{N}{D}$$
- C'est une mesure de la **performance calculatoire**.

Performance calculatoire

- Soit D la **durée d'exécution** d'un benchmark sur un type de processeur (coeur) donné.
- Soit N le **nombre de milliards d'opérations à virgule flottante** dans le benchmark.
- La **vitesse** V (en Gflops) peut s'écrire:

$$V = \frac{N}{D}$$

- C'est une mesure de la **performance calculatoire**.
- En faisant abstraction des aspects énergétiques, le meilleur processeur est celui qui maximise V . C'est celui qui minimise D (c'est le benchmark classique).

Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
--	--------------------	-----------------

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75
2	Power6	12.14

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75
2	Power6	12.14
3	PowerXCell 8i	8.36

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75
2	Power6	12.14
3	PowerXCell 8i	8.36
4	Power5+	8.03

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75
2	Power6	12.14
3	PowerXCell 8i	8.36
4	Power5+	8.03
5	NEC	7.00

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Cray X1E	14.75
2	Power6	12.14
3	PowerXCell 8i	8.36
4	Power5+	8.03
5	NEC	7.00
6	Xeon L54xx (Harpertown)	6.85
7	Xeon X54xx (Harpertown)	6.80
8	Xeon E54xx (Harpertown)	6.57
9	Xeon 52xx (Wolfdale)	6.55
10	Xeon 53xx (Clovertown)	6.44

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

- Pour notre étude, nous avons considérés trois types de calculs avec le programme ABINIT ayant un nombre différents d'opérations à virgule flottante $N^{(i)}$ ($i = 1, \dots, 3$).

Performance calculatoire

- Pour notre étude, nous avons considérés trois types de calculs avec le programme ABINIT ayant un nombre différents d'opérations à virgule flottante $N^{(i)}$ ($i = 1, \dots, 3$).
- Par ailleurs, nous avons considérés l'exécution d'un benchmark sur 1, 2, 4 et 10 coeurs en parallèle fournissant respectivement les durées D_1 , D_2 , D_4 , et D_{10} .

Performance calculatoire

- Pour notre étude, nous avons considérés trois types de calculs avec le programme ABINIT ayant un nombre différents d'opérations à virgule flottante $N^{(i)}$ ($i = 1, \dots, 3$).
- Par ailleurs, nous avons considérés l'exécution d'un benchmark sur 1, 2, 4 et 10 coeurs en parallèle fournissant respectivement les durées D_1 , D_2 , D_4 , et D_{10} .
- La vitesse a été obtenue en faisant la moyenne des vitesses pour les trois types de calcul, celles-ci étant obtenues en pondérant les différentes exécutions en parallèle:

$$V = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 V^{(i)} \quad \text{avec} \quad V^{(i)} = \frac{4N^{(i)}}{D_1^{(i)} + 2D_2^{(i)} + 4D_4^{(i)} + 10D_{10}^{(i)}}$$

Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)
1	Xeon E5420 2.66GHz (Blade server)	2.03
2	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	1.98
3	Xeon L5420 2.5GHz (Twin 1U)	1.82
4	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	1.82
5	Opteron 2347HE 1.9GHz (Twin 1U)	1.27

Performance calculatoire

- Par ailleurs, le prix d'achat fixe le **nombre de coeurs** (N_c) qu'il sera possible d'acheter. Afin de se ramener à des coûts annuels, nous avons considéré que le prix d'achat de la machine serait amorti en 5 ans. La variable que nous avons donc introduit est donc l'**amortissement** A de la machine (en k€/an).

Performance calculatoire

- Par ailleurs, le prix d'achat fixe le **nombre de coeurs** (N_c) qu'il sera possible d'acheter. Afin de se ramener à des coûts annuels, nous avons considéré que le prix d'achat de la machine serait amorti en 5 ans. La variable que nous avons donc introduit est donc l'**amortissement** A de la machine (en k€/an).
- Nous faisons l'hypothèse que la **vitesse totale** V_{tot} (en GFlops) s'écrit simplement comme:

$$V_{tot} = N_c V$$

rem: L'inefficacité des calculs en parallèle est prise en compte au niveau de notre mesure de V .

Performance calculatoire

	Type de processeur	V (GFlops)	N_c	V_{tot} (GFlops)	A (k€/an)
1	Xeon L5420 2.5GHz (Twin 1U)	1.82	832	1520	65
2	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	1.82	768	1400	61
3	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	1.98	672	1330	62
4	Xeon E5420 2.66GHz (Blade server)	2.03	640	1300	64
5	Opteron 2347HE 1.9GHz (Twin 1U)	1.27	960	1225	65

Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
----------------	------	---------	-------	-----------------------

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	212992	478

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	212992	478
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	163840	450

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	212992	478
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	163840	450
4	Univ. of Texas Etats-Unis	Ranger - SunBlade x6420	62976	326

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	212992	478
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	163840	450
4	Univ. of Texas Etats-Unis	Ranger - SunBlade x6420	62976	326
5	DOE/ORNL Etats-Unis	Jaguar - Cray XT4 Quadcore 2.1 GHz	30976	205

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance calculatoire

Top500 Rank	Site	Machine	N_c	V_{tot} (TFlops)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	122400	1026
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	212992	478
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	163840	450
4	Univ. of Texas Etats-Unis	Ranger - SunBlade x6420	62976	326
5	DOE/ORNL Etats-Unis	Jaguar - Cray XT4 Quadcore 2.1 GHz	30976	205
6	FZ Juelich Allemagne	Blue Gene/P Solution	65536	180

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)



Performance énergétique

- La **performance énergétique** peut être approchée par le biais l'**énergie électrique consommée** E (en kWh) pour exécuter le benchmark.

Performance énergétique

- La **performance énergétique** peut être approchée par le biais l'**énergie électrique consommée** E (en kWh) pour exécuter le benchmark.
- Notons qu'il est important d'inclure l'énergie électrique consommée par le refroidissement:

$$E = (1 + r)E'$$

où E' est l'énergie électrique consommée par la machine seule et r est typiquement de l'ordre 60-70%.

Performance énergétique

- La **performance énergétique** peut être approchée par le biais l'**énergie électrique consommée** E (en kWh) pour exécuter le benchmark.
- Notons qu'il est important d'inclure l'énergie électrique consommée par le refroidissement:

$$E = (1 + r)E'$$

où E' est l'énergie électrique consommée par la machine seule et r est typiquement de l'ordre 60-70%.

- La **puissance électrique** (en kW) pour un coeur s'obtient comme:

$$W = \frac{E}{D} \quad \text{et} \quad W_{tot} = N_c W$$

Performance énergétique

- Diverses **métriques** ont été proposées pour mesurer la performance énergétique.

Performance énergétique

- Diverses **métriques** ont été proposées pour mesurer la performance énergétique.
- Citons les métriques du type ED^n (avec $n = 1, 2$ ou 3) ou les variantes du type $E^{(1-x)}D^{(2+x)}$ qui ont toutes montré certaines limites (voir “Making a Case for a Green500 List”, S. Sharma, C.-H. Hsu, et W.-C. Feng).

Performance énergétique

- Diverses **métriques** ont été proposées pour mesurer la performance énergétique.
- Citons les métriques du type ED^n (avec $n = 1, 2$ ou 3) ou les variantes du type $E^{(1-x)}D^{(2+x)}$ qui ont toutes montré certaines limites (voir “Making a Case for a Green500 List”, S. Sharma, C.-H. Hsu, et W.-C. Feng).
- Au bout du compte, c’est la métrique U (en Flops/Watt) qui a été retenue pour le classement Green500:

$$U = \frac{V}{W} = \frac{V_{tot}}{W_{tot}}$$

Performance énergétique

Top500 Rank	Site	Machine	U (MFlops/W)
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	437.4
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	205.3
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	357.4
4	Univ. of Texas Etats-Unis	Ranger - SunBlade x6420	59.2
5	DOE/ORNL Etats-Unis	Jaguar - Cray XT4 Quadcore 2.1 GHz	56.5
6	FZ Juelich Allemagne	Blue Gene/P Solution	357.1

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)

<http://www.green500.org> (Juin 2008)



Performance énergétique

Top500 Rank	Site	Machine	U (MFlops/W)	Green500 Rank
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	437.4	3
2	DOE/LLNL Etats-Unis	Blue Gene/L Solution	205.3	43
3	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	357.4	13
4	Univ. of Texas Etats-Unis	Ranger - SunBlade x6420	59.2	283*
5	DOE/ORNL Etats-Unis	Jaguar - Cray XT4 Quadcore 2.1 GHz	56.5	302*
6	FZ Juelich Allemagne	Blue Gene/P Solution	357.1	14

(*) calcul basé sur
la puissance crête

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)

<http://www.green500.org> (Juin 2008)



Performance énergétique

Top500 Rank	Site	Machine	U (MFlops/W)	Green500 Rank
324	IBM Allemagne	Monte Capanne - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	488.1	1
464	Fraunhofer Allemagne	Cell - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	488.1	1
1	DOE/LANL Etats-Unis	Roadrunner - BladeCenter PowerXCell 8i 3.2 GHz	437.4	3
304	Argonne NL Etats-Unis	Blue Gene/P Solution	371.8	4
305	Dublin ICHEC Irlande	Blue Gene/P Solution	371.8	4
306	Daresbury Lab Royaume-Uni	Blue Gene/P Solution	371.8	4

benchmark: LINPACK

source: <http://www.top500.org> (Juin 2008)

<http://www.green500.org> (Juin 2008)



Performance énergétique

	Type de processeur	U (MFlops/W)
1	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	87.4
2	Xeon L5420 2.5GHz (Twin 1U)	84.6
3	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	69.8
4	Xeon E5420 2.66GHz (Blade server)	65.5
5	Opteron 2347HE 1.9GHz (Twin 1U)	57.0

Performance énergétique

- Il est également possible de convertir le tout en **coût de fonctionnement annuel** (en k€/an):

$$F = kW_{tot} = k \frac{U}{V_{tot}}$$

où k fait intervenir le prix de l'électricité kWh et la durée de fonctionnement de la machine sur un an (8760h).

Performance énergétique

- Il est également possible de convertir le tout en **coût de fonctionnement annuel** (en k€/an):

$$F = kW_{tot} = k \frac{U}{V_{tot}}$$

où k fait intervenir le prix de l'électricité kWh et la durée de fonctionnement de la machine sur un an (8760h).

- En y ajoutant l'amortissement du coût de la machine (A), le **coût total annuel** P peut également être obtenu:

$$P = A + F = A + kW_{tot}$$

Performance énergétique

- Il est également possible de convertir le tout en **coût de fonctionnement annuel** (en k€/an):

$$F = kW_{tot} = k \frac{U}{V_{tot}}$$

où k fait intervenir le prix de l'électricité kWh et la durée de fonctionnement de la machine sur un an (8760h).

- En y ajoutant l'amortissement du coût de la machine (A), le **coût total annuel** P peut également être obtenu:

$$P = A + F = A + kW_{tot}$$

- En faisant abstraction des aspects calculatoires, la meilleure machine est celle qui minimise P . C'est celle qui minimise W_{tot} (la machine est au repos).

Performance calculatoire et énergétique

- En prenant en compte à la fois les aspects calculatoires et énergétiques, la meilleure machine est celle qui maximise V_{tot} tout en minimisant P .

Performance calculatoire et énergétique

- En prenant en compte à la fois les aspects calculatoires et énergétiques, la meilleure machine est celle qui maximise V_{tot} tout en minimisant P .
- Une manière de faire consiste à minimiser la métrique I (en €/GFlops):

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{A}{V_{tot}} + k \frac{U}{V_{tot}^2}$$

Performance calculatoire et énergétique

- En prenant en compte à la fois les aspects calculatoires et énergétiques, la meilleure machine est celle qui maximise V_{tot} tout en minimisant P .
- Une manière de faire consiste à minimiser la métrique I (en €/GFlops):

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{A}{V_{tot}} + k \frac{U}{V_{tot}^2}$$

efficacité calculatoire

Performance calculatoire et énergétique

- En prenant en compte à la fois les aspects calculatoires et énergétiques, la meilleure machine est celle qui maximise V_{tot} tout en minimisant P .
- Une manière de faire consiste à minimiser la métrique I (en €/GFlops):

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{A}{V_{tot}} + k \frac{U}{V_{tot}^2}$$

efficacité calculatoire

efficacité énergétique

Performance calculatoire et énergétique

- En prenant en compte à la fois les aspects calculatoires et énergétiques, la meilleure machine est celle qui maximise V_{tot} tout en minimisant P .
- Une manière de faire consiste à minimiser la métrique I (en €/GFlops):

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{A}{V_{tot}} + k \frac{U}{V_{tot}^2}$$

efficacité calculatoire

efficacité énergétique

- Cette métrique est équivalente à choisir à budget total P fixé la machine avec la plus grande efficacité calculatoire.

Performance calculatoire et énergétique

	Type de processeur	N_c	V_{tot} (GFlops)	U (MFlops/W)	A (k€/an)	F (k€/an)	I (€/GFlops)
1	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	768	1400	87.4	61	50	79
2	Xeon L5420 2.5GHz (Twin 1U)	832	1520	84.6	65	55	79
3	Xeon L5420 2.5GHz (Blade server)	672	1330	69.8	62	59	91
4	Xeon E5420 2.66GHz (Blade server)	640	1300	65.5	64	61	97
5	Opteron 2347HE 1.9GHz (Twin 1U)	960	1225	57.0	65	67	107

Merci de votre attention!

