

## ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MONTE-CARLO ĐỂ ƯỚC LƯỢNG SAI SỐ TRONG KẾT QUẢ MÔ PHỎNG CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ: ÁP DỤNG CHO TRƯỜNG HỢP THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Hồ Quốc Bằng

Viện Môi Trường và Tài Nguyên, ĐHQG – HCM

(Bài nhận ngày 31 tháng 08 năm 2010, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 23 tháng 03 năm 2011)

**TÓM TẮT:** Ô nhiễm không khí đã và đang là mối đe dọa đến sức khỏe của hàng triệu người tại TP Hồ Chí Minh (TP HCM) do phát thải các chất ô nhiễm ở mức cao. Các nghiên cứu chỉ ra rằng hơn 90% trẻ em ở độ tuổi dưới 5 tuổi ở TP.HCM bị bệnh liên quan đến đường hô hấp. Mục tiêu của nghiên cứu này là: (1) nghiên cứu sự hình thành của các đám khói ô nhiễm trong thời kỳ 3 ngày vào tháng 2 năm 2006 và (2) ước lượng sai số trong các kết quả của mô phỏng chất lượng không khí cho TP.HCM. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng chùm khói Ôzone ( $O_3$ ) hình thành ở phía tây bắc của thành phố. Một kịch bản giảm thiểu ô nhiễm không khí đã được nghiên cứu để giúp chính quyền địa phương đưa ra quyết định để quản lý chất lượng không khí tại TP.HCM. Để đưa ra các quyết định có giá trị khoa học cao, chúng tôi đã ước lượng sai số trong quá trình mô phỏng chất lượng không khí. Phương pháp Monte-Carlo được sử dụng để ước lượng sai số trong nghiên cứu này. Kết quả của kịch bản giảm thiểu bao gồm tính toán sai số chỉ ra rằng nếu chính quyền địa phương thực hiện theo kế hoạch kiểm soát khí thải đã đề ra: vào năm 2020, nồng độ  $O_3$  sẽ giảm đến 30% so với mức  $O_3$  hiện nay.

**Từ khóa:** Phương pháp Monte-Carlo, mô hình hóa, TP Hồ Chí Minh, giao thông, kịch bản, sai số.

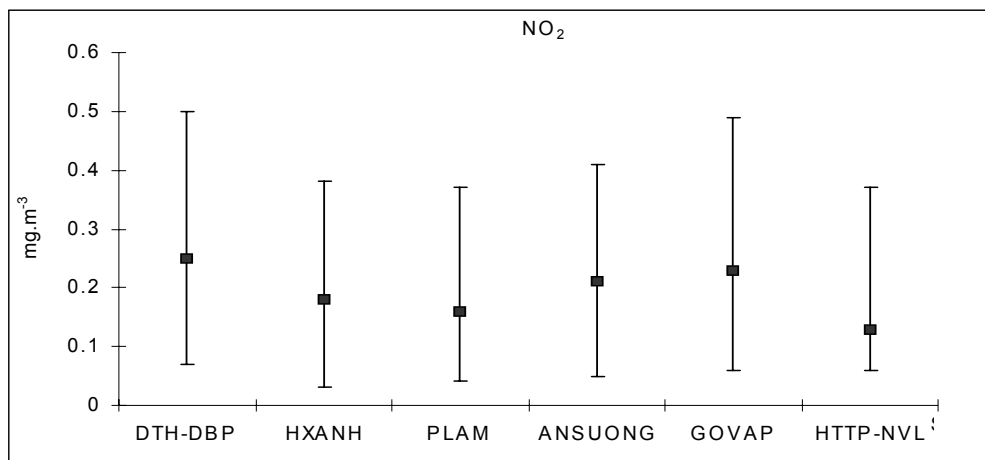
### 1. GIỚI THIỆU

Thành phố Hồ Chí Minh (HCM) có diện tích là một vùng đô thị năng động. Giống như nhiều thành phố khác, dân số và kinh tế tăng trưởng rất nhanh. Dân số của thành phố là 7.123.000 (năm 2009) và tỷ lệ tăng dân số của TP HCM là 3,5% / năm (Du, 2009). Tốc độ tăng trưởng kinh tế của TP HCM là 12,0% - 12,5% / năm trong thời kỳ 2006-2010 (HIDS, 2007). Việc tăng dân số dẫn đến sự gia tăng số lượng xe trong thành phố. Xe gắn máy là phương tiện giao thông chính ở TP HCM

(2.895.831 xe gắn máy năm 2006). Việc tăng trưởng kinh tế nhanh chóng kéo theo việc thành lập thêm các khu công nghiệp và các nhà máy. Hiện nay có khoảng 28.500 nhà máy trong thành phố. Hoạt động giao thông và công nghiệp tại Tp.HCM đã thải ra một lượng lớn các chất ô nhiễm không khí vào bầu khí quyển. Chất lượng không khí Tp.HCM đã và đang bị ô nhiễm, nồng độ các chất ô nhiễm này đã vượt quá tiêu chuẩn Việt Nam (HEPA, 2006) như các chất tổng bụi lơ lửng (TSP), PM10,  $NO_2$  và  $O_3$  (Nguyen, 2002; HEPA, 2006). Nồng độ  $O_3$ ,

SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> và PM<sub>10</sub> đo đạc ở các trạm quan trắc ven đường thường xuyên vượt quá tiêu chuẩn Việt Nam (HEPA, 2006). Ví dụ, nồng độ NO<sub>2</sub>

tại các trạm quan trắc ven đường trong năm 2006 (Hình 1) thường vượt quá tiêu chuẩn Việt Nam (0.2mg.m<sup>-3</sup>).



**Hình 1.** Nồng độ trung bình 24h của NO<sub>2</sub> tại 6 trạm quan trắc (DTH\_DBP, HXANH, PLAM, ANSUONG, GOVAP và HTTP\_NVL). Tiêu chuẩn Việt Nam đối với NO<sub>2</sub> trung bình 24h là 0.2 mg/m<sup>3</sup>. (Nguồn: HEPA (2006)).

Ô nhiễm không khí ảnh hưởng rất nghiêm trọng đến sức khỏe của hàng triệu người vì phải tiếp xúc với nồng độ cao các chất ô nhiễm độc hại (TSP, PM<sub>10</sub> và O<sub>3</sub>). Các nghiên cứu về mối quan hệ giữa ô nhiễm không khí và sức khỏe (Le et al 2008) cho thấy hơn 90% trẻ em dưới 5 tuổi ở TP.HCM mắc các bệnh khác nhau liên quan đến đường hô hấp. Vì vậy việc cấp bách hiện nay là nghiên cứu thực trạng ô nhiễm và thiết kế các chiến lược tốt nhất để giảm bớt lượng phát thải. Rất khó áp dụng các công cụ đo đạc và kiểm soát ô nhiễm để đề xuất các biện pháp giảm phát thải vì: (i) các phương pháp này rất tốn kém và (ii) các quá trình tham gia vào việc hình thành các phản ứng quang hóa trong khí quyển rất phức tạp và không tuyến tính (Martilli, năm 2001, Clappier, 2001). Cho đến nay chỉ có các mô hình số hóa mới có thể đáp ứng và bao gồm các quá trình

này. Sử dụng các mô hình số hóa giúp cho chúng ta hiểu được diễn biến ô nhiễm cũng như kiểm tra các kịch bản giảm thiểu khác nhau (Clappier (2001); Rappenglück et al 2003).

Mục đích của nghiên cứu này là nghiên cứu sự hình thành của chòm ô nhiễm trên thành phố và ước lượng sai số trong các kết quả của mô phỏng chất lượng không khí cho TP.HCM để nghiên cứu các chiến lược giảm bớt ô nhiễm khác nhau cho thành phố. Để đạt được mục đích của nghiên cứu này, rất nhiều dữ liệu đã được thu thập và đo đạc để chọn khoảng thời gian mô phỏng chất lượng không khí. Chọn thời kỳ cho việc mô phỏng chất lượng không khí cho khu vực Tp.HCM phụ thuộc vào điều kiện khí tượng và mức độ ô nhiễm cao. Thứ nhất, phân tích số liệu đo đạc và thu thập số liệu để chọn thời kỳ mô phỏng, thống kê phát thải (TKPT), mô tả các mô hình được sử dụng

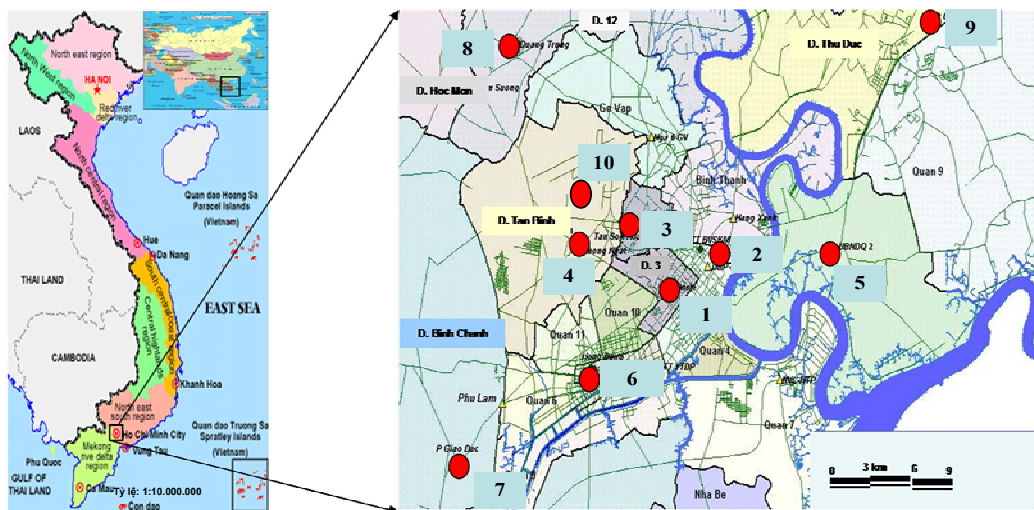
trong nghiên cứu này. Thứ hai, giới thiệu phương pháp Monte-Carlo và ứng dụng chúng để tính toán sai số trong mô hình hóa. Thứ 3, trình bày các kết quả của mô phỏng chất lượng không khí có sử dụng 100 mô phỏng MC để tính sai số và chiến lược giảm thiểu ô nhiễm đến năm 2020. Cuối cùng, là kết luận và các vấn đề cần nghiên cứu thêm.

## 2. DỮ LIỆU VÀ MÔ TẢ MÔ HÌNH

### 2.1 Đo đạc

Nghiên cứu này sử dụng các kết quả đo đạc của Viện Môi Trường và Tài Nguyên (IER) và Chi Cục bảo vệ môi trường TP.HCM (HEPA). Các thông số khí tượng bao gồm gió, nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ mặt trời và áp suất. Các

chất ô nhiễm được đo đạc bao gồm  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $NO_x$  và  $CO$ . (Hình 2). Trong số các trạm quan trắc chất lượng không khí này có năm trạm đo không khí xung quanh (theo dõi  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ) và bốn trạm ven đường (theo dõi  $PM_{10}$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ). Các số liệu khí tượng tại Trạm TSN (Sân bay Tân Sơn Nhất) được quản lý bởi Trung tâm Đại Dương và Khí quyển Quốc gia Mỹ (NOAA, 2006). Các trạm của NOAA cung cấp dữ liệu khí tượng theo chiều cao của nhiệt độ, tốc độ gió và hướng gió một lần mỗi ngày (lúc 7h00). Trạm này cũng đo nhiệt độ bề mặt và gió ở độ cao trung bình là 19m so với mặt đất.



**Hình 2.** Bản đồ bên trái là vị trí của Việt Nam. Bản đồ bên phải là vị trí các trạm quan trắc khí tượng và chất lượng không khí. 5 trạm ven đường (1. DO; 4. TN; 6. HB; 7. BC; 9. TD) và 4 trạm không khí xung quanh (2. ZO; 3. TS; 5. D2; 8. QT). Trạm quan trắc khí tượng tại TSN (trạm số 10). Thành phố Hồ Chí Minh có tọa độ  $10^{\circ}10' - 10^{\circ}38'$  Bắc và  $106^{\circ}22' - 106^{\circ}54'$  Đông. (Nguồn: thư viện IER-VNU).

### 2.2. Chọn thời kỳ mô phỏng

Số liệu quan trắc chất lượng không khí từ năm 2002 đến năm 2006 từ các trạm quan trắc trên được phân tích để chọn ra thời kỳ mô hình

hóa. Thời kỳ từ ngày 6-8 tháng 2 năm 2006 đã được chọn cho giai đoạn mô hình hóa vì hai lý do: (i) thuộc mùa khô khi nhiệt độ và bức xạ mặt trời rất mạnh, (ii) đây là một trong những

thời kỳ ô nhiễm nhất trong năm 2006. Tại TP HCM, các nồng độ  $\text{NO}_x$ , CO trong các khu dân cư thường thấp hơn tiêu chuẩn Việt Nam. Tuy nhiên, bức xạ mặt trời rất mạnh tại TP.HCM. Do đó, có các chất ô nhiễm thứ cấp sinh ra ở nồng độ cao (như:  $\text{O}_3$ ) thường xuyên được quan sát thấy. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung để mô phỏng sự ô nhiễm của sơ cấp và các chất ô nhiễm thứ cấp bằng cách sử dụng mô hình chất lượng không khí.

### 2.3. Thống kê phát thải

Chi tiết về TKPT của TP.HCM được hiện bởi nghiên cứu khác (Bảng, 2010). Được sử dụng làm đầu vào cho các mô hình chất lượng không khí. Các TKPT được tính cho một ngày làm việc thuộc tháng 2 năm 2006 với độ phân giải thời gian là một giờ và độ phân giải không gian là 1 km x 1 km. TKPT cho giao thông đường bộ, nghiên cứu trên đã sử dụng mô hình EMISENS (Bảng, 2010). Mô hình EMISENS là một phương pháp mới để tính phát thải giao thông bằng cách sử dụng hai phương pháp tiếp cận “top-down” và “bottom-up”. Đối với các nguồn phát thải khác (công nghiệp, dân cư và sinh học), các dữ liệu để tính toán TKPT bị hạn chế, do đó nghiên cứu trên đã sử dụng phương pháp tiếp cận “top-down” để tính toán TKPT.

### 2.4. Mô tả mô hình

Mô hình chất lượng không khí được sử dụng cho nghiên cứu này là TAPOM (Transport and Photochemistry Mesoscale Model) (Martilli et al 2003; Junier et al. 2004). Mô hình TAPOM được phát triển tại EPFL, Thụy Sĩ (Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne) và Trung tâm Nghiên cứu Môi

trường, Ý. Đây là một mô hình vận chuyển và quang hóa học không gian ba chiều theo mô hình Euler. Nó dựa trên phương trình cân bằng khối lượng cho các chất trong khí quyển. Phương trình này bao gồm các yếu tố sau: khuếch tán thẳng đứng, nhiễu loạn, quá trình hóa học, sa lắng khô, sa lắng ướt các chất ô nhiễm. Các biến đổi hóa học được mô phỏng bằng cách sử dụng các thông số theo cơ chế (RACM - Regional Atmospheric Chemistry Mechanism) (Stockwell et al 1997), Gong and Cho (Gong et al. 1993) và mô đun ISORROPIA (a new thermodynamic equilibrium module for multiphase multicomponent inorganic aerosols) (Nenes et al 1998). Các quá trình vận chuyển được tính toán bằng các thuật toán được phát triển bởi Collella và Woodward (Collella et al 1984). Sau đó, thuật toán này gần đây đã được phát triển bởi Clappier (Clappier et al 1998). Các quá trình quang hóa được tính bởi mô đun TUV được phát triển bởi Madronich (Madronich et al 1998).

### 3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH SAI SỐ TRONG MÔ PHỎNG CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ

Phương pháp Monte-Carlo đã và đang được sử dụng để ước lượng sai số trong rất nhiều nghiên cứu về chất lượng không khí (ví dụ: Hanna et al., 1998; Sathya., 2000; Hanna et al., 2001; Abdel-Aziz and Christopher Frey., 2004). Phương pháp Monte-Carlo được áp dụng như sau:

Kết quả tính toán cuối cùng phụ thuộc vào các tham số đầu vào khác nhau:

$$E = f(H_1, \dots, H_n)$$

Với  $H_i$  là các tham số đầu vào ( $i=1, n$ ). Mỗi tham số đầu vào  $H_i$  được phân bố xung quanh giá trị trung bình  $\overline{H}_i$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_i$ .

Phương pháp Monte-Carlo (Ermakov, 1977) mô phỏng cho mỗi tham số đầu vào một dãy số phân bố theo phân bố chuẩn (pseudorandom normally distributed numbers)  $\eta^H$  (có  $s = 1$  và giá trị trung bình= 0),  $\eta^H$  được dùng để mô phỏng một loạt các giá trị  $H_i$ :

$$H_i^k = \overline{H}_i + \eta^H \sigma_i$$

Các giá trị vừa được mô phỏng ở trên  $H_i^k$  được dùng để mô phỏng các giá trị của  $E^k$  theo công thức:  $E^k = f(H_1^k, \dots, H_n^k)$ . Từ đó tính toán giá trị trung bình  $\overline{E}$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_E$ . Độ lệch chuẩn này được tính từ phân bố  $E^k$ .

Chúng ta có thể tính phần trăm độ lệch chuẩn của  $\sigma_E$  theo thông thức sau:

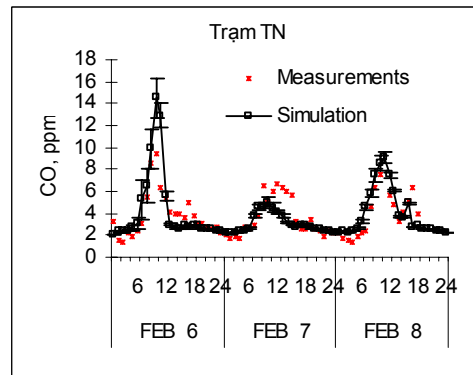
$$\sigma_E^* = \frac{\sigma_E \times 100}{\overline{E}}$$

Để cho kết quả mô phỏng chất lượng không khí có độ tin cậy cao thì kết quả mô phỏng phải bao gồm khoảng sai số. Sai số trong mô phỏng chất lượng không khí do các số liệu đầu vào gây ra có thể tính thông qua độ lệch chuẩn (standard deviation) xung quanh giá trị đầu ra của mô hình (Hwang et al., 1998). Cho đến nay, phương pháp Monte-Carlo (MC)

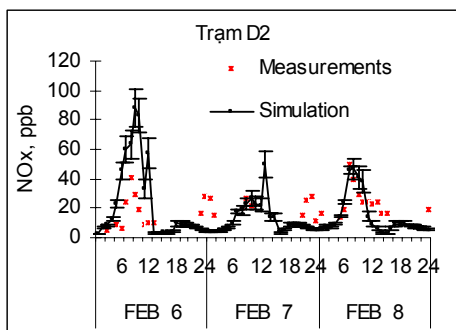
là một phương pháp rất mạnh và phù hợp để tính sai số (Hanna et al., 2000). Để sử dụng phương pháp này, đầu tiên chúng tôi đã phát triển một chương trình có tên là EMIGEN (EMISSIONS GENERATIONS). Phương pháp MC được sử dụng trong EMIGEN bao gồm các bước sau: (1) mô phỏng 1 dãy số ngẫu nhiên (random numbers), dãy số này tuân theo phân bố chuẩn Gauss; (2) kết quả TKPT lấy từ nghiên cứu khác (Bằng, 2010) được sử dụng như thông số đầu vào cho EMIGEN; (3) chạy chương trình EMIGEN để xuất ra 100 bản đồ phát thải khác nhau. Từ 100 bản đồ phát thải này sẽ được sử dụng như là đầu vào của mô hình chất lượng không khí TAPOM<sup>(2)</sup>. Kết quả 100 lần chạy mô phỏng chất lượng không khí theo phương pháp MC này cho phép chúng tôi tính giá trị trung bình và sai số của mô phỏng. Kết quả được trình bày trong hình 3.

**4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

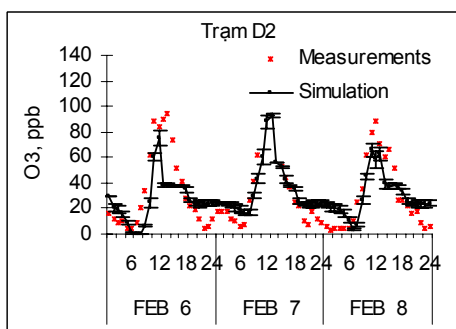
**4.1 kết quả mô phỏng chất lượng không khí**



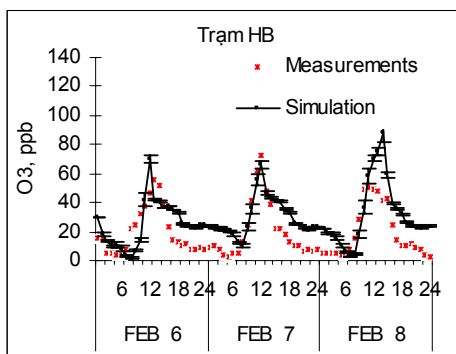
a)



b)



c)



d)

**Hình 3.** So sánh kết quả mô phỏng (simulation - đường nét đậm) và kết quả đo đạc (measurements - ngôi sao) từ ngày 6 đến 8 tháng 2 năm 2006 đối với các chất CO (ppm) tại trạm TN, NO<sub>x</sub> (ppb) tại trạm D2 và O<sub>3</sub> (ppb) tại D2 và HB. Sai số của CO, NO<sub>x</sub> và O<sub>3</sub> được tính từ 100 mô phỏng MC biểu diễn bởi 1σ (standard deviation). NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>.

*Kết quả mô phỏng các chất ô nhiễm sơ cấp*

Kết quả mô phỏng và đo đạc được trình bày trên hình 3 là những giá trị trung bình của 100 mô phỏng MC. Sai số trên hình được thể hiện là 1σ theo thời gian. Hình 3 (a) cho thấy sai số trong kết quả mô phỏng CO tối đa là 1,8 ppm (chiếm 34,4% của giá trị trung bình) tại giờ cao điểm 07h00 – 08h00 ngày 6 Tháng 2 năm 2006. Sai số tối thiểu là 0,01 ppm (chiếm 0,5% của giá trị trung bình) được quan sát vào ban đêm từ ngày 6 - 8 tháng 2 năm 2006. Hình 3 (b) cho thấy sai số trong kết quả mô phỏng NO<sub>x</sub> tối đa là 11,28 ppb (chiếm 13% giá trị trung bình) đồng thời xuất hiện tại giờ cao điểm trong ngày. Sai số tối thiểu là 0,47 ppb (chiếm 5,9% của giá trị trung bình) được quan sát vào giữa đêm.

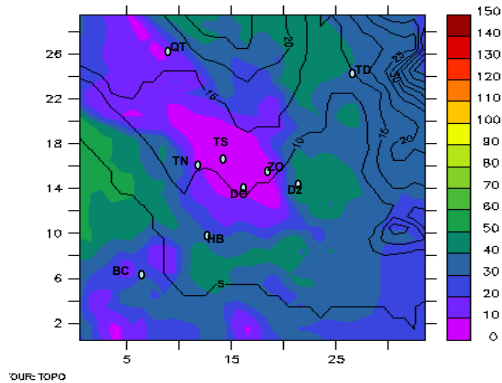
*Kết quả mô phỏng chất ô nhiễm thứ cấp*

Kết quả giữa mô phỏng và đo đạc O<sub>3</sub> tại trạm D2 và HB được mô tả trong Hình 3 (c và d). Nồng độ O<sub>3</sub> tại trạm D2 cao hơn trạm HB, bởi vì trạm D2 nằm gần chùm khí ô nhiễm O<sub>3</sub> hơn trạm HB. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy nồng độ O<sub>3</sub> cao cùng vị trí với kết quả đo đạc, điều đó cho thấy mô hình mô phỏng đúng vị trí của chùm khí ô nhiễm. Chúng ta có thể thấy rằng trạm HB (Hình 2) có vị trí gần hơn về phía nam của thành phố so với trạm D2. Điều này xác nhận là các chất ô nhiễm đang được vận chuyển theo hướng bắc và tây bắc lúc 13h00 ngày 7 tháng 2 năm 2006. Kết quả phân tích sai số trong quá trình mô hình hóa chất lượng không khí được nghiên cứu bằng cách chạy 100 mô phỏng MC. Hình. 3 (c) và Hình. 3 (d) cho thấy mức độ sai số của O<sub>3</sub> tối đa là

5ppb (chiếm 8,6% giá trị trung bình) vào thời điểm 11h00-13h00 ngày 6 -8 tháng 2 năm 2006 tại cả hai trạm. Sai số tối thiểu của  $O_3$  là 1ppb

*Trường ô nhiễm  $O_3$  phân bố trong không gian*

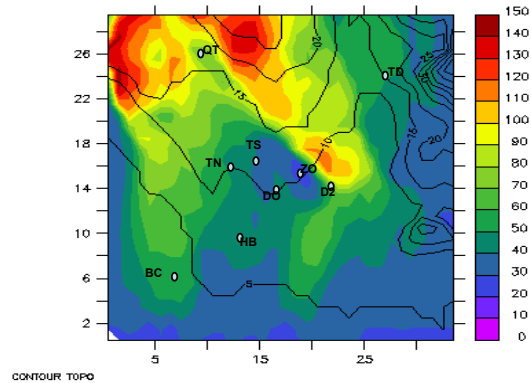
Feb 7/2006 1000LT,  $O_3$ (ppb)



(a)

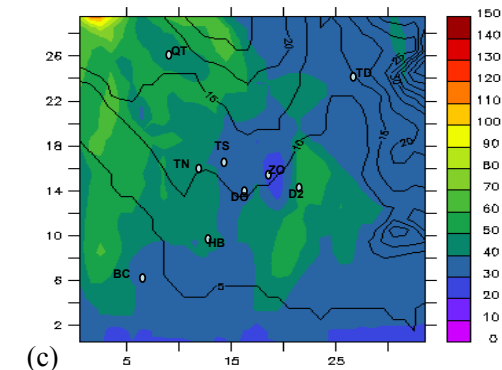
(chiếm 15% của giá trị trung bình) tại thời điểm 07h00 – 09h00 ngày 6 - 8 tháng 2 năm 2006 tại cả hai trạm.

Feb 7/2006 1300LT,  $O_3$ (ppb)



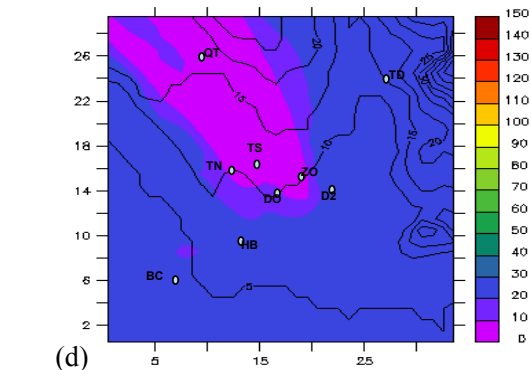
(b)

Feb 7/2006 1500LT,  $O_3$ (ppb)



(c)

Feb 7/2006 2000LT,  $O_3$ (ppb)



(d)

**Hình 4.** Trường nồng độ  $O_3$  (ppb) tại TP.HCM, lúc 10h00 (a), 13h00 (b), 15h00 (c) and 20h00 (d), Ngày 7 tháng 2 năm 2006 và vị trí các trạm quan trắc. Các màu sắc thể hiện nồng độ của  $O_3$

Hình. 4 cho thấy chùm khí ô nhiễm  $O_3$  phát triển vào ngày 7 tháng 2 năm 2006. Vào thời điểm sáng sớm trong ngày với nồng độ rất cao của  $NO_x$  được lưu trữ ngay tại trung tâm của thành phố, làm phá hủy  $O_3$  (Hình 4.a). Trong khi hình 4 (b), chỉ ra rằng  $O_3$  lúc 10h00 đang được hình thành trong thành phố. Vào lúc

này, các chất ô nhiễm được đẩy về phía tây-bắc của thành phố do gió đến từ phía đông-nam. Hình 4 (c) chỉ ra rằng cho đến khi 13h00 (bức xạ mặt trời cao nhất) lượng tối đa nồng độ của  $O_3$  được tạo thành. Tại thời điểm này, gió được chia thành ba vùng hội tụ chính, điều này đã chia chùm khí ô nhiễm  $O_3$  thành hai luồng khác

nhau. Nồng độ cao nhất của  $O_3$  được hình thành tại thời điểm này, ngày 7 tháng 2 năm 2006, 140 ppb và 150 ppb theo hướng bắc và tây bắc của thành phố, tương ứng. Tại thời điểm 20h00, không có bức xạ mặt trời đến trái đất, giúp ngăn chặn quá trình hình thành  $O_3$  và thúc đẩy quá trình phá hủy  $O_3$ , đặc biệt là ở phía tây bắc của thành phố.

#### 4.2. Chiến lược giảm thiểu ô nhiễm đến năm 2020

Hơn 15 năm qua, nhiều nghiên cứu các chiến lược giảm ô nhiễm không khí đã được tiến hành bằng cách sử dụng các mô hình chất lượng không khí (Metcalfe et al 2002; Palacios et al. 2002; Zarate et al. 2007 và trích dẫn một vài). Kết quả trên cho thấy rằng vấn đề cấp thiết hiện nay là thiết lập các kịch bản giảm thiểu phát thải cho TP.HCM. Trong những năm gần đây, kết quả của giám sát chất lượng không khí ở TP.HCM đã chỉ ra rằng các chất ô nhiễm thường xuyên vượt quá giới hạn tiêu chuẩn cho phép do phát thải từ nguồn giao thông (HEPA, 2005; HEPA, 2006). Chính quyền địa phương đã bắt đầu thiết kế một số kế hoạch kiểm soát khí thải đối với giao thông ở TP HCM. Kế hoạch được thiết kế cho năm 2020. Phương án kiểm soát khí thải này được đặt tên là “kịch bản giảm thiểu phát thải vào năm 2020”. Theo đó, vào năm 2020 chính quyền TP HCM sẽ thực hiện nhiều hoạt động để kiểm soát ô nhiễm không khí liên quan đến nguồn giao thông đường bộ (Trinh, 2007): (1) kiểm soát phát thải của tất cả các xe (Thắng, 2004); (2) 5 tuyến tàu điện ngầm sẽ được hoàn thành vào cuối năm 2020 (Bảo du lịch, 2008) và (3) chính quyền

TP HCM sẽ đưa vào sử dụng thêm 4.500 xe buýt mới trong thời gian 2006-2020 (Trương, 2005).

*Phân tích sự giảm thiểu  $O_3$  tại các vị trí khác nhau trong thành phố*

Hình 5 mô tả mức giảm nồng độ  $O_3$  ( $\overline{\Delta O_3}$  ở phương trình 3) so với năm 2006 và sai số của mô phỏng ( $\sigma_{\overline{\Delta O_3}}$  phương trình 4) ở các vị trí khác nhau (chúng tôi xem độ lệch chuẩn là sai số). Những giá trị này được tính từ 100 mô phỏng MC.

$$\Delta O_3 = \overline{\Delta O_3} = \frac{\sum_{i=1}^{100} (O_{3\_Base\ case}^i - O_{3\_2020}^i)}{100} \quad (3)$$

với  $i$  là số lần mô phỏng

$O_{3\_Base\ case}^i$  là nồng độ  $O_3$  của năm 2006 (năm tham chiếu) cho lần mô phỏng thứ  $i$ .

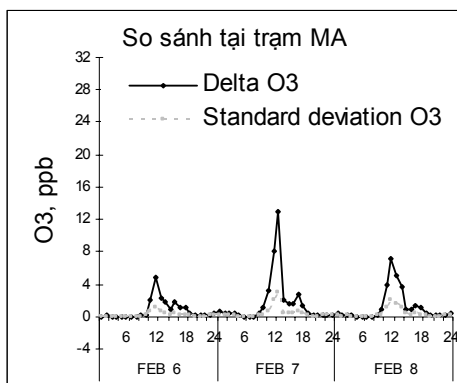
$O_{3\_2020}^i$  là nồng độ  $O_3$  của năm 2020 cho lần mô phỏng thứ  $i$ .

$$\text{Standard deviation of } O_3 = \sigma_{\overline{\Delta O_3}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (\Delta O_3^i - \overline{\Delta O_3})^2}{99}} \quad (4)$$

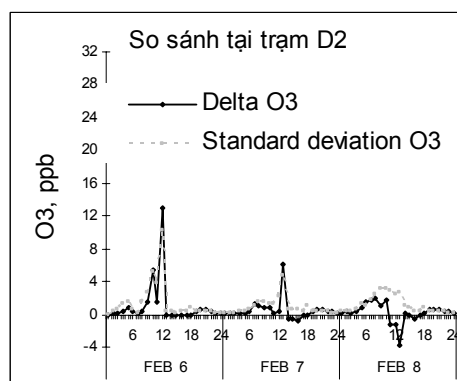
với:  $\Delta O_3^i$  là nồng độ  $O_3$  khác nhau giữa năm 2006 và 2020 cho lần mô phỏng thứ  $i$ .

Sai số lớn nhất trong mô phỏng mức giảm nồng độ  $O_3$  ( $\sigma_{\overline{\Delta O_3}}$ ) cũng xuất hiện cùng thời điểm với mức giảm nồng độ  $O_3$  lớn nhất ( $\overline{\Delta O_3}$ ) vào lúc 12h00 – 14h00 vào mỗi ngày. Nói chung, nồng độ  $O_3$  vào năm 2020 thấp hơn nồng độ  $O_3$  vào năm 2006 khoảng từ 10-30%





a)



b)

**Hình 5.** Nồng độ O<sub>3</sub> năm 2020 giảm so với nồng độ O<sub>3</sub> vào năm 2006 và sai số tại hai vị trí khác nhau (trạm D2 và MA).

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phương pháp mô hình hóa mô phỏng quá trình quang hóa trong khí quyển được sử dụng để nghiên cứu ô nhiễm không khí ở TP HCM và sử dụng phương pháp Monte-Carlo để tính sai số phục vụ công việc thiết lập chiến lược giảm thiểu ô nhiễm đã hoàn thành và thành công. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình khí tượng FVM (dạng meso-scale) và mô hình chất lượng không khí TAPOM. Kết quả mô hình

chất lượng không khí giúp chúng ta hiểu rõ hơn về sự phân bố các chất ô nhiễm tại TP.HCM. Chùm khí ô nhiễm O<sub>3</sub> được tìm thấy ở phía tây bắc của thành phố. Kết quả của mô hình chất lượng không khí cho thấy nồng độ O<sub>3</sub> mô phỏng cao hơn khoảng 2 lần so với TCVN. Sai số mô phỏng được ước lượng bằng cách sử dụng 100 mô phỏng MC. Mức sai số trong kết quả mô phỏng được tìm thấy chiếm 15% giá trị trung bình. Để có cơ sở kiểm soát khí thải của thành phố trong tương lai, một kịch bản giảm thiểu được nghiên cứu bao gồm 100 mô phỏng MC. Kịch bản cho thấy, nồng độ O<sub>3</sub> vào năm 2020 sẽ giảm khoảng 10% - 30% so với nồng độ O<sub>3</sub> hiện tại. Chúng ta có thể kết luận rằng 5 tuyến tàu điện ngầm được đưa vào sử dụng năm 2020 góp phần quan trọng để cải thiện chất lượng không khí cho TP.HCM trong tương lai.

Kiến nghị: cần tiếp tục nghiên cứu nhiều kịch bản giảm thiểu khác nhau cho các thành phố như: thay thế xe buýt sử dụng dầu diesel bằng xe buýt sử dụng khí thiên nhiên, giảm lưu lượng giao thông ở trung tâm thành phố nơi phát thải cao nhất.

**Cảm ơn:** Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) và Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này. Đặt biệt cảm ơn Giáo Sư Alain Clappier, Tiến Sĩ Erika Zarate và Sajjad S-Hussain đã có những thảo luận và đóng góp ý kiến quý báu trong quá trình hoàn thiện nghiên cứu này.

## APPLICATION MONTE-CARLO METHOD TO ESTIMATE UNCERTAINTIES IN THE RESULTS OF AIR QUALITY MODELLING: THE CASE OF HO CHI MINH CITY

Ho Bang Quoc

Institute of Environment and Resources, VNU-HCM

**ABSTRACT:** Air pollution has deteriorated considerably the health of millions of people in Ho Chi Minh City (HCMC) due to high levels emissions. It has been showed that more than 90% of children under the age of 5 years old suffered from different respiratory illnesses in the city. The objectives of this research include: (1) studying the formation of the pollution plume over the city during a 3-day episode in February 2006 and (2) estimating uncertainties in the results of air quality simulations for HCMC. Research results show evidence of the development of a Ozone ( $O_3$ ) pollution plume in the north-western part of the city. A scenario for reduction of air pollution is studied in this work to help the local government to make decisions for managing air quality in HCMC. For making a better-informed decision, the probabilistic estimate for the photochemical model is carried out in this research. The Monte-Carlo method that is applied in this research for the uncertainty analyses is an efficient method of producing a probabilistic output from the photochemical model. The results of abatement strategy showed that if the local government follows the emission control plan: by 2020, the  $O_3$  concentration will be decreased by 30% compared to the recent  $O_3$  concentration.

**Keywords:** Monte-Carlo method, Air quality modelling, Ho Chi Minh City, road traffic, abatement strategy, uncertainty analysis.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bao du lich, *Impact of the Metro system on development of economic in HCMC*.  
<http://www.baodulich.net.vn/printContent.aspx?ID=876>. Accessed 2 January 2010.(2008).
- [2]. Bougeault P, Lacarrere P, *Parameterization of orography-induced turbulence in a mesobeta-scale model*. Monthly Weather Review 117, 1872–1890, (1989).
- [3]. Brown KS, Min C, *Volatile Organic Compounds (VOCs) in New Car Interiors*. The 15th International Clean Air & Environment Conference Sydney CASANZ 464-8 26-30 Nov. 2000, (2000.).
- [4]. Clappier A, Perrochet P, Martilli A, Muller F, Krueger BC, *A new non-hydrostatic mesoscale model using a control volume finite element (CVFE) discretisation technique*. In: Borrell, P.M, et al. (Ed.), Proceedings of the EUROTRAC Symposium '96.

- Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 527–553, (1996).
- [5]. Clappier A, Monthly Weather Review 126, 232–242, (1998).
- [6]. Clappier A, *Modélisation numérique des polluants atmosphériques*. 98p. Cours de troisième année EPF Lausanne, (2001).
- [7]. Collella P, Woodward P, *The piecewise parabolic method (PPM) for gas dynamical simulations*. Journal of Computational Physics 54, 174–201, (1984).
- [8]. Dana K, Hiranya F, Emerging risk impacts of key environmental trends in emerging Asia. Report on April 009, (2009).
- [9]. DOSTE (Department of Science Technology and Environment of Ho Chi Minh city), *Urban transport energy demand and emission analysis – Case study of HCM city*. N° 1 (phase II), (2001).
- [10]. Du QN, *Population explosion in HCMC*. Director of Ho Chi Minh Statistical Office, (2009).
- [11]. European Environment Agency (EEA), EMEP/CORINAIR. *Emission inventory guidebook*, (1999).
- [12]. Gale group, Vietnam. *Ho Chi Minh City becomes one of 100 rapid economic growth cities*. March, 2007. Ipr strategic business information database – articles. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G1-160479731.html>, (2007).
- [13]. Gong W, Cho H, *A numerical scheme for the integration of the gas phase chemical rate equations in three-dimensional atmospheric models*. Atmospheric Environment. 27A, 2147–2160, (1993).
- [14]. Hanna SR, Chang JC, Fernau ME, *Monte Carlo estimates of uncertainties in predictions by a photochemical grid model (UAM-IV) due to uncertainties in input variables*. Atmos Environ 1998; 32:3619-3628, (1998).
- [15]. Hanna, SR, Lu Z, Frey CH, Wheeler N, Vukovich J, Arunachalam, S, Fernau M, Hansen A, *Uncertainties in predicted ozone concentration due to input uncertainties for the UAM-V photochemical grid model applied to the July 1995 OTAG domain*. Atmospheric Environment 35 (5), 891–903, (2000).
- [16]. Hwang D, Karami HA, Byun DW, *Uncertainty analysis of environmental models within GIS environments*. Computers & Geosciences 24 (2) 119–130, (1998).
- [17]. HIDS (Ho Chi Minh City Institute for Development Studies), *Economic's report 2007 for Ho Chi Minh City*. December 2007, (2007).
- [18]. HEPA (Ho Chi Minh Environmental Protection Agency), *Last report of 2005 on inventory of emissions sources for HCMC*. December 2005, (2005).
- [19]. HEPA (Ho Chi Minh Environmental Protection Agency), *Report 2006 on air quality in Ho Chi Minh City*. December 2006, (2006).

- [20]. Ho Quoc Bang, *Optimal Methodology to Generate Road Traffic Emissions for Air Quality Modeling: Application to Ho Chi Minh City*. DOI : 10.5075/epfl-thesis-4793. Luận Án Tiến Sĩ - Trường Đại Học Bách Khoa Liên Bang Lausanne, Thụy Sĩ, (2010).
- [21]. IER Report annual, *Environmental monitoring in South of Vietnam Zone III*, Air quality monitoring program in south of Vietnam, Institute of Environment and Resources.(2006).
- [22]. Junier M, Kirchner F, Clappier A, Hubert VDB, *The chemical mechanism generation program CHEMATA, part II: Comparison of four chemical mechanisms in a three-dimensional mesoscale simulation*, Atmos. Environ. Vol 39, page: 1161-1171.(2004).
- [23]. Krpo A, *Development and Application of a Numerical Simulation System to Evaluate the Impact of Anthropogenic Heat Fluxes on Urban Boundary Layer Climate*. Ph.D thesis. EPFL.(2009).
- [24]. Le, TG, Dan G, Nao, I, Clean Air Initiative, *Air Pollution Blamed as Study Finds Respiratory Illness Hitting HCMC's Children*, March 26, 2008.(2008).
- [25]. Louis JF, *A parametric model of vertical eddies fluxes in the atmosphere*. *Boundary-Layer Meteorology* 17, 187–202, (1979).
- [26]. Madronich S, *TUV troposphere ultraviolet and visible radiation model*. <http://acd.ucar.edu/models/open/tuv/tuv.html/>. Accessed 5 July 2004, (1998).
- [27]. Martilli A, Clappier A, Rotach MW, *An urban surface exchange parameterization for mesoscale models*. *Boundary-Layer Meteorology* 104, 261–304, (2002).
- [28]. Martilli A, Roulet YA, Junier M, Kirchner F, Rotach MW, Clappier A, *On the impact of urban exchange parameterization on air quality simulations: the Athens case*, Atmos.Environ.37, 4217-4231, (2003).
- [29]. Metcalfe SE, Whyatt JD, Derwent RG, O'Donoghue M, *The regional distribution of ozone across the British Isles and its response to control strategies*. Atmospheric Environment 36, 4045–4055.(2002).
- [30]. Mics-Asia project, *International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria*. 2000. (Page accessed August 20 2007), (2000).
- [31]. Moussiopoulos Nicolas, *Air Quality in Cities*. Springer Heidelberg Germany. ISBN 3-540-00842-x. 298 p., (2003).
- [32]. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Website for assessing the meteorological data in horizontal: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata/weather\\_request.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata/weather_request.cfm), (2006).

- [33]. The meteorological data in vertical: <http://esrl.noaa.gov/raobs/>. Accessed 11 December 2009.
- [34]. Nenes A, Pandis S, Pilinis C, *ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multi-component inorganic aerosols*. Aquatic Geochemistry 4, 123-152, (1998).
- [35]. Nguyen DT, *Current situation of air pollution in Ho Chi Minh City, Vietnam. Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technology*, held in Singapore, 19-21 June, pp. 242-248, (1996).
- [36]. Nguyen DT, Pham TT, Air pollution in HoChiMinh City, Vietnam. *Conference on: "Better Air quality in Asian and Pacific Rim Cities (BAQ 2002) Dec.2002 Hong Kong*, (2002).
- [37]. Ohara TH, Akimoto J, Kurokawa N, Horii K, Yamaji X, Yan and T Hayasaka, *An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020*. Atmos. Chem. Phys, vol 7, Page 4419–4444.(2007).
- [38]. Palacios M, Kirchner F, Martilli A, Clappier A, Martin F, Rodriguez ME, Summer ozone episodes in the Greater Madrid area. *Analyzing the Ozone Response to Abatement Strategies by Modelling*. Atmospheric Environment 36, 5323–5333, (2002).
- [39]. Rappenglück B, Oyola P, Olaeta I, Fabian P, *The evolution of Pho-tochemical Smog in the Metropolitan Area of Santiago de Chile*. Journal of Applied Meteorology 39, 275-290, (2000).
- [40]. Sathya V, *Uncertainty analysis in air quality modelling - the impact of meteorological input uncertainties*. Thesis N°2318 (2003). EPFL, (2003).
- [41]. Schayes GP, Thunis P, Bornstein BD, *Development of the topographic vorticity mode mesoscale (TVM) model: Part I—formulation*. J. Appl. Meteor. 35 (10), 1815–1823, (1996).
- [42]. Stockwell WR, Kirchner F, Kuhn M, Seefeld S, *A new mechanism for regional atmosphere rich chemistry modeling*. Journal of Geophysical Research 102, 25847–25879, (1997).
- [43]. Thang QD, *A Vision for Cleaner Emissions from Motorcycles in Viet Nam. Paper presented at the Cleaner Vehicles and Fuels in Viet Nam Workshop*, 13–14 May 2004, Hanoi, Viet Nam. Vietnamese Ministry of Transportation and US-EPA, (2004).
- [44]. Trinh NG, *Motorcycles do not meet emissions standards should be upgraded or replaced. Conference in: "Control emission from motorcycles in major cities of Vietnam"*, HCMC. August 2007, (2007).
- [45]. Tremback CJ, Kessler R, *A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models Proceedings of Seventh conference on Numerical Weather*

*Prediction*, Montreal, Quebec, Canada, June 17–20, (1985).

[46]. Tuong L, *Go together by bus. Conference in: "The solutions for reducing the transport congestion for HCMC City in 2020"* HCMC. 2005. Available at: <http://vietbao.vn/Phong-su/Di-xe-buyt-thoi-xang-tang-gia/30066850/263/>. Accessed 3 January 2010, (2005).

[47]. Tsai JH, Hung LC, Yi CH, Hung CW, Chang, YY, *The speciation of volatile organic compounds (VOCs) from motorcycle engine exhaust at different driving modes*. *Atmospheric Environment* 37-2485–2496, (2003).

[48]. Zhang QD, Streets G, Carmichael K, He H, Huo A, Kannari, Z, Klimont I, Park S, Reddy J, Fu D, Chen L, Duan Y, Lei L,

Wang and Z Yao, *Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission*. *Atmospheric Chem. Phys*, 9, 5131–5153, 2009, (2009).

[49]. Zarate Erika, *Diseno e implementacion de un modelo de calidad del aire para Bogota*. Reporte 7. Uniandes/Dama. 2004. 70p, (2004).

[50]. Zarate E, Belalcazar LC, Clappier A, Manzi V, Hubert VDB, *Air quality modelling over Bogota, Colombia: Combined techniques to estimate and evaluate emission inventories*. *Atmospheric Environment*, 41, 6302–6318.(2007).

[51]. Zarate E, *Understanding the Origins and Fate of Air Pollution in Bogota, Colombia*. Doctoral thesis, N° 3768, EPFL, (2007).