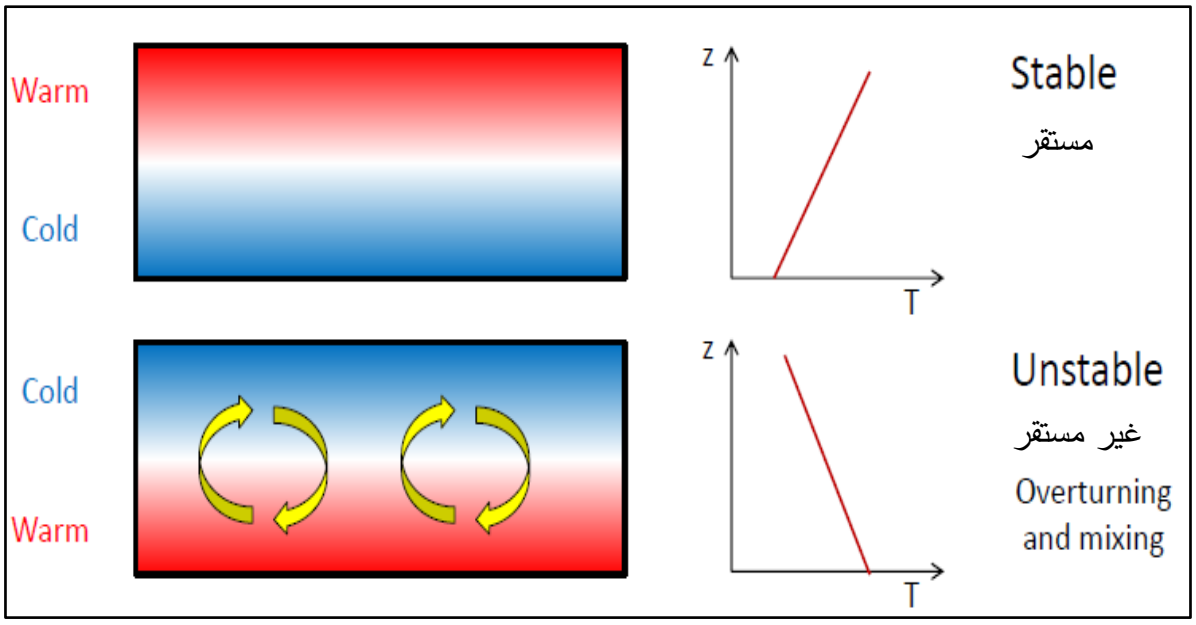
حركة وانتقال ملوثات الهواء (Transport processes)

بعد انطلاق المواد الملوثة من مصدرها الى الهواء تبدا بمرحلة الانتقال والتشتت والتي تكون بالاتجاهين الافقي والعمودي، عند اختفاء الرياح وسكون الهواء يكون التشتت بطيئا نسبيا لكونه يحدث بسبب الانتشار فقط. اما الرياح فتقوم بنقل المواد الملوث باتجاه حركتها وبسرعة تتناسب وسرعتها. إن سرعة الرياح واتجاهها يؤثران بشكل كبير في تركيز نسبة الملوثات، حيث يتناسب تركيز الملوثات في الغلاف الغازي تناسباً عكسياً مع سرعة الرياح، فكلما ازدادت سرعة الرياح كلما قلت نسبة تركيز الملوثات، وتساعد حركة الرياح الأفقية على نقل الغازات الملوثة الى مناطق أخرى بعيدة عن منطقة المصدر ومن ثم اختلاطها مع رياح جديدة وبالتالي تقليل التراكيز السمية لها. أما انخفاض سرعتها أو ما يسمى (الأحوال الجوية المستقرة) فتؤدي الى حدوث ضعف ونقصان في عملية الاختلاط الهوائي فتنشأ عنها بعض الظواهر الجوية كالضباب والندى وخاصة إذا توافرت الرطوبة الجوية. وتحدث الكوارث البيئية في الأيام التي يكون فيها ارتفاع الحركة الرأسية للهواء (الاختلاط الرأسي) اقل من 1500م وسرعة الرياح اقل من 4م/ثا أي حوالي اقل من 15كم/ساعة، وتكون غير مصاحبة بأمطار.

ان انتقال الملوثات الهوائية بواسطة الانتشار (diffusion) يتم عن طريق الفيض (الحركة) الرأسي للملوثات بين طبقات الهواء الجوي المختلفة، حيث يكون التدرج في المحتوى الحراري بين تلك الطبقات هو العامل الرئيسي في عملية تصاعد الملوث لأعلى أو هبوطه لأسفل أو بقائه في نفس الطبقة الهوائية. لذا تلعب درجة حرارة الغلاف الجوي دورا مهما في تشتت وانتقال ملوثات الهواء خاصة في طبقة التروبوسفير. من المعروف إن درجات الحرارة تنخفض بمعدل درجة مئوية واحدة لكل 100م ارتفاع للأعلى وهذا يعرف بمعدل الانحدار الاديباتي ويرمز له بـ (Γ)، لكن تحدث في معظم الأحيان إن تنخفض درجة الحرارة بمعدل أسرع من هذا المعدل، أي إن الهبوط يكون أكثر من درجة مئوية واحدة لكل 100م، عندها يكون الجو غير مستقر وتكون الحركة الرأسية والأفقية للهواء على أشدها، والتي تؤدي الى توليد تيارات الحمل الهوائية العمودية وحدوث الانقلاب الحراري. حيث ترتفع كتلة الهواء الساخنة ذات الكثافة الاقل والمحملة بالملوثات الى اعلى وتغطس الكتلة الهوائية العليا الباردة والاكثر كثافة لتحل محل الكتلة الهوائية الصاعدة. مما يدفع الملوثات على الانتقال وتخفيف تراكيزها في الهواء. وعندما تنعكس الحالة، أي ترتفع درجة الحرارة مع الارتفاع حينئذ يكون الهواء مستقرا وثابتا. حيث تكون كتلة الهواء الساخنة والاقل كثافة في الاعلى بينما

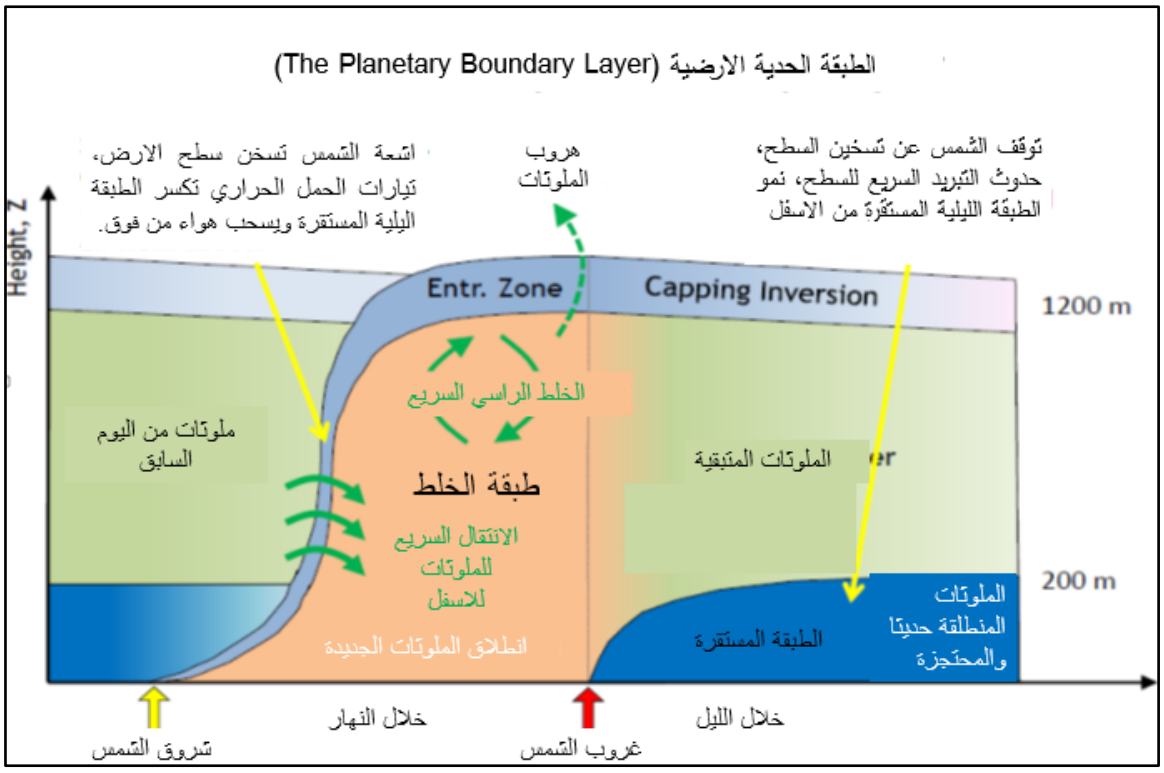
كتلة الهواء الابرد والاكثر كثافة تستقر في الاسفل والذي يؤدي الى انعدام التيارات الهوائية العمودية والحركة الرأسية (عدم حدوث الانقلاب الحراري) وبالتالى الانتشار البطئ للمواد الملوثة.



(شكل يوضح الحالة المستقرة وغير المستقرة للكتل الهوائية في لغلاف الجوي)

في طبقة التروبوسفير تتناقص درجة الحرارة كلما ارتفعنا إلى أعلى حتى نصل إلى ارتفاع حوالي عشرة كيلومترات. هذا النقص في درجة الحرارة يأتي نتيجة لنقص عملية تسخين الهواء من سطح الأرض كلما ارتفعنا وكذلك فقد الهواء للحرارة بالإشعاع. يصل هذا الانخفاض في درجة الحرارة إلى ذروته على الحدود الخارجية لطبقة التروبوسفير. ويطلق على هذا الانخفاض في درجة الحرارة مع الارتفاع معدل الانحدار Lapse Rate.

ففي الليالي الساكنة والصافية يبرد سطح الأرض عن طريق الإشعاع الحراري، وبهذه العملية تبرد طبقة الهواء الملامس لسطح الأرض. ففي الحالة الاعتيادية تتناقص درجة الحرارة كلما ارتفعنا للأعلى اعتباراً من سطح الأرض، لكن هنا تصبح العملية معاكسة للعملية السابقة (الهبوط الحراري)، إذ تنخفض درجة الحرارة كلما اتجهنا للاسفل حتى ارتفاع محدد اعتباراً من سطح الأرض ولن تسمح كتلة الهواء المستقرة فوق طبقة الهواء البارد والقريبة من سطح الأرض بالتبادل الشاقولي للهواء مما يتسبب في احتجاز الملوثات. ويكون ارتفاع الطبقة الحاجزة (Blocked layer) ضئيلاً فهي تقع عادة على ارتفاع 200م أو اقل من ذلك. وعندما تقوم الشمس بتدفئة الأرض خلال النهار تدفئ الغلاف الجوي السفلي، فتكوّن طبقة يحدث عندها اختلاط في الجو وفجأة تتحرر الملوثات التي كانت محجوزة في الغلاف الجوي ليلا ضمن الطبقة الحاجزة.



تشتيت الملوثات المنبعثة من مصدر نقطي

عندما تخرج الملوثات من مدخنة إلى الهواء الجوي فإنها تكون سحابة دخان (Plume) ما يحدث لهذه السحابة متوقف على عوامل كثيرة منها:

أ- نوعية الملوثات وخصائصها الكيميائية والطبيعية.

ب- الأحوال الجوية عند كل فترة زمنية.

ج- موقع المصدر بالنسبة لأي عوائق لحركة الهواء.

د- طبيعة تضاريس المكان (مثلا هل هي في اتجاه مهب الريح Down wind ام عكسه).

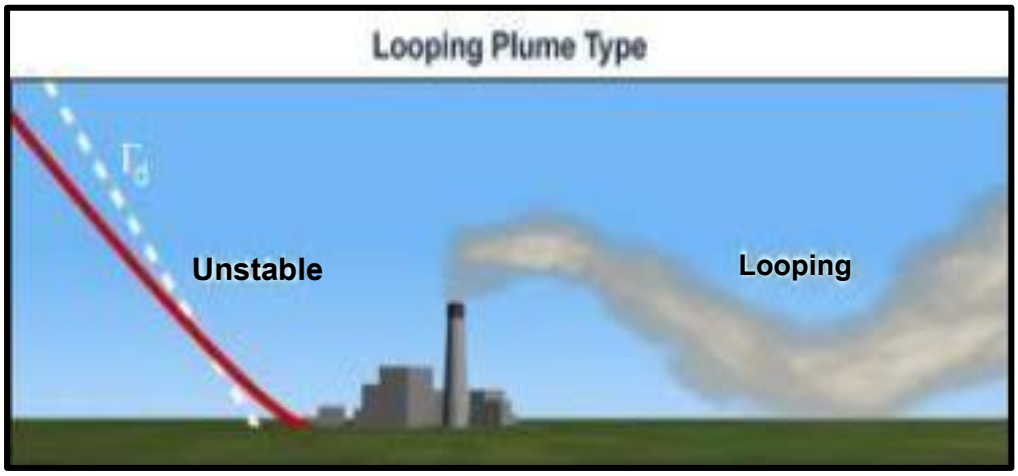
يقدر تأثير واهمية هذه العوامل على سحابة الدخان من خلال ما تقلله من نسبة تركيز الملوثات الابتدائية Primary pollutants المنبعثة من المصدر مباشرة. وعلى وجه العموم فإن أعلى نسبة تركيز للملوثات على سطح الأرض يكون في مدى يبدأ من حول المدخنة إلى عدة كيلومترات في اتجاه سرعة الرياح. معظم سحابات الدخان المنبعثة من المداخن تكون خليطا من الغازات والجسيمات.تكون للجسيمات الكبيرة سرعة ترسيب عالية فتتجمع قرب المصدر بينما تبقى الجسيمات الصغيرة عالقة في الهواء لفترات طويلة ويكون تشتيتها مشابه تماما لتشتيت الغازات. ومن المعروف

أن طبيعة الغازات تجعلها تنتشر من مكان فيه تركيز عال للجزيئات إلى مكان آخر تقل فيه نسبة تركيز الجزيئات هذا إذا أتيح الوقت الكافي لذلك.

عادة ما تنطلق السحابه الملوثة من المدخنة بدرجات حرارة مرتفعة وكثافة كتلية أقل من كثافة الهواء المحيط بها مما يؤدي إلى تصاعد السحابة لأعلى مسافة رأسية تعتمد على الفرق بين درجة حرارة كل من السحابة والهواء المحيط بها، وهذا ما يسمى بتأثير الطفو، كما يطلق على هذا التصاعد "تصاعد الطفو" (buoyancy rise). ان اتجاه الدخان الخارج من المداخن يسير باتجاه التيار الهوائي ويكون نمط انتشاره معتمدا على تغيير درجة حرارة الغلاف الجوي مع الارتفاع وعلى ارتفاع المدخنة. بناءا على ماتقدم يمكن تقسيم انماط انتشار سحابة الدخان الى خمس انواع:

1- الانتشار الانشوطي Looping Plume

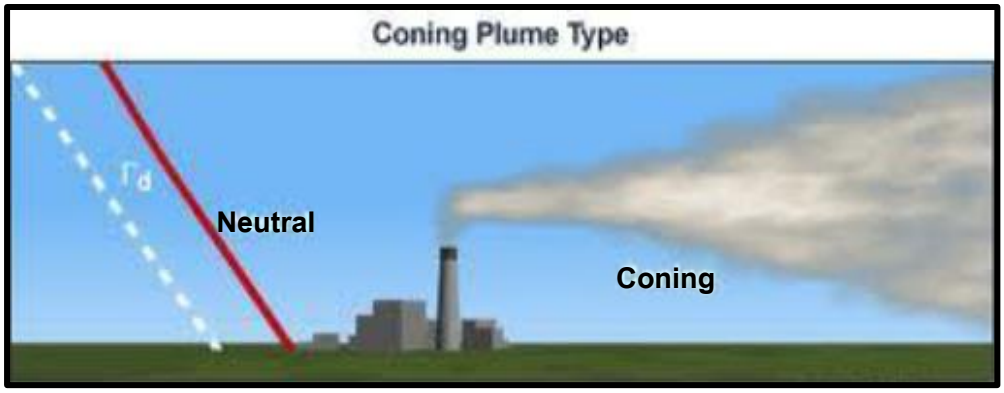
يحدث عندما يكون معدل انخفاض درجة حرارة الجو وسحابة الدخان مع الارتفاع اعلى من معدل الانخفاض الاديباتي. وفي هذه الحالة يكون الجو شديد الاضطراب **وغير مستقر** (Unstable) بسبب تكون كتل هوائية مضطربة كبيرة الحجم والتي تساعد في تشتت الدخان بسرعة وهذا يؤدي الى ايصاله الى سطح الارض بسرعة.



2- الانتشار المخروطي Coning Plume

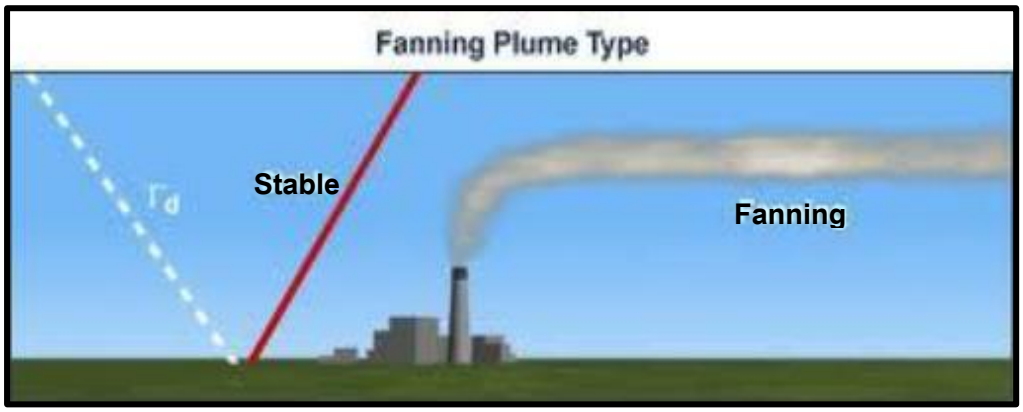
يحدث عندما يكون معدل انخفاض درجة حرارة الجو وسحابة الدخان مع الارتفاع مساوي لمعدل الانخفاض الاديباتي. بذلك يكون الجو محايد ومعتدل (Neutral) مع حدوث

عمليات الخلط العمودية والافقية بشكل تدريجي مكونة شكلا مخروطيا. عادة تحدث خلال الجو الغائم ووجود الرياح.



3- الانتشار المروحي Fanning Plume

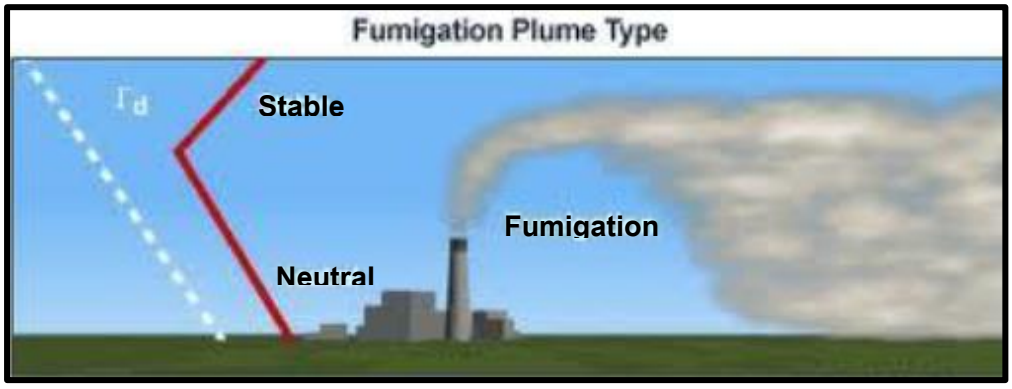
في هذا النوع تنتشر السحابة بصورة افقية ولكنها لاتمتزج عموديا. تحدث عندما تزداد درجة حرارة الجو مع الارتفاع، عندها يطلق على الجو بانه في حالة مستقرة (Stable). سحابة الدخان نادرا ماتصل الى سطح الارض إلا في حالة حدوث التسخين الارضي العالي للهواء المحيط او في حالة اصطدام السحابة بمرتفعات او بنايات عالية. يحدث هذا النوع من الانتشار عادة في الليالي الصافية ذات الرياح الخفيفة.



4- الانتشار التدخيني Fumigation Plume

هذا النوع من الانتشار يتسبب في وصول تراكيز عالية من الدخان والملوثات الى سطح الارض على طول امتداد سحابة الدخان. يحدث هذا الانتشار عندما تكون درجة حرارة السحابة مساوية لحرارة الجو ونتيجة لانخفاض درجة حرارة الجو في المستوى الارضي

(تحت السحابة) اديباتيا مع الارتفاع في حين يكون الجو فوق سحابة الدخان مستقرا (تزداد درجة حرارة الجو مع الارتفاع). وبالتالي فان ذلك سوف يودي الى حدوث عملية الانقلاب الحراري وخلط الملوثات فقط في الجزء الواقع تحت سحابة الدخان فيسبب في وصول الملوثات الى سطح الارض. يحدث هذا النوع عندما تكون السماء صافية والرياح خفيفة.



5- انتشار الشموخ Lofting Plume

هذا النوع من الانتشار هو عكس النوع السابق (الانتشار التدخيني) حيث الملوثات والدخان تنتشر في المنطقة الممتدة من سحابة الدخان وصعودا نحو الاعلى ولايحدث انتشار تحت السحابة باتجاه سطح الارض. ويرجع ذلك الى حدوث انخفاض اديباتي في درجة حرارة الجو ابتداءا من مستوى السحابة وصعودا الى اعلى في حين يكون الجو من مستوى السحابة ونزولا باتجاه سطح الارض مستقرا. لذلك فان عملية الانقلاب الحراري وخلط الملوثات تكون محصورة فقط في المنطقة فوق السحابة الدخانية.