

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเยื่อกรองแบบจุ่มตัวในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ และน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง โดยศึกษาอิทธิพลและสภาวะทางไฮโดรไดนามิกส์ที่มีต่อสมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบรวมถึงศึกษาสาเหตุของฟาวลิง และอัตราการเกิดฟาวลิงในชุดเยื่อกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันที่สภาวะต่างๆ ของการปรับสภาพน้ำผิวดิน-น้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง โดยดำเนินการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการด้วยการใช้แบบจำลองระบบอัลตราฟิลเตรชันที่มีชุดเยื่อกรองทอกลวงเส้นใยจุ่มตัวอยู่ในถังปฏิกริยา มีขนาดความจุประมาณ 60 ลิตร พร้อมชุดจ่ายอากาศด้านล่างของชุดเยื่อกรองเพื่อให้ความดันป้อนใกล้เคียงเยื่อกรองขณะเดินระบบกรองเพื่อหาค่าฟลักซ์วิกฤต (critical flux) ขณะกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว ในสภาวะที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ เกลือของเหล็ก (FeCl_3), อลูมิเนียมซัลเฟต หรือ สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) ที่ค่าที่เหมาะสมและต่ำกว่าค่าเหมาะสม 50% และวัสดุดูดซับ คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงสำหรับน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ประเมินผลประสิทธิภาพการปรับสภาพน้ำป้อนดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์คุณภาพในแต่ละชุดทดสอบ และทดสอบสมรรถนะของระบบด้วยการกรองน้ำป้อนแบบต่อเนื่อง เพื่อหาค่าความเร็วการเกิดฟาวลิงในรูปของค่า $d\text{TMP}/dt$ ที่ค่าฟลักซ์คงที่ โดยเลือกเดินระบบด้วยค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% โดยไม่มีการเติมอากาศและไม่เติมสารปรับสภาพ เติมน้ำปรับสภาพที่ค่าเหมาะสมโดยไม่เติมอากาศ และไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และไม่เติมอากาศ เปรียบเทียบกับที่เติมผงถ่านกัมมันต์ด้วยค่าที่เหมาะสมและไม่มีการเติมอากาศ รวมถึงทดสอบการสมรรถนะระบบฯ แบบต่อเนื่องเมื่อกรองน้ำป้อน โมเดลสารแขวนลอยและสารละลายที่เป็นตัวแทนองค์ประกอบหลักที่คาดว่าจะพบในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว

ผลการศึกษา พบว่า สารละลายเฟอริกคลอไรด์ สารละลายสารส้ม และสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ถึง 94-97 % ในขณะที่เดียวกันสามารถลดปริมาณสีปรากฏ ค่า absorbance ที่ 254 nm และปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดิวมิค ให้อยู่ในระดับต่ำจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ปริมาณที่เหมาะสมในการลดค่าความขุ่นในน้ำผิวดินมีค่าต่ำกว่า 5 NTU คือ 20 mg/L, 50 mg/L และ 3 mg/L ตามลำดับ สำหรับกรณีน้ำป้อนที่เป็นน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ นั้น การปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ปริมาณ 500 mg/L เป็นปริมาณที่เหมาะสม คือ ลดค่า absorbance ที่ 254 nm ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของกรดิวมิค ได้สูงกว่า 50% โดยค่า BOD_5 ที่คงเหลือคั่งในน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ อยู่ในระดับต่ำจนไม่สามารถตรวจพบได้

ผลการทดลองหาค่าฟลักซ์วิกฤต พบว่า ค่าฟลักซ์วิกฤตในสภาวะที่มีการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอน มีผลทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มขึ้น สารละลายเฟอริกคลอไรด์มีศักยภาพในการทำให้ค่าฟลักซ์วิกฤตเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดถึง 2-3 เท่าตัว ผลของการเติมอากาศรวมกับการปรับสภาพด้วยสารสร้างตะกอนไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์วิกฤต ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราการเติมอากาศสูงขึ้นในตัวอย่างน้ำผิวดินที่ปรับสภาพด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์พบว่าผลเชิงบวกต่อการเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์วิกฤตในระดับหนึ่ง และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าฟลักซ์วิกฤตที่เพิ่มขึ้นจากผลการปรับสภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดฯ ด้วยถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพน้ำทิ้งหลังกรอง พบว่า การเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดิวมิคในตัวอย่างได้มากกว่าสภาวะที่ไม่เติม โดยมีสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปกรดิวมิคเหลือคั่งในน้ำเพอมีเอทระหว่าง 0.5-1.7 mg/L ซึ่งลดกว่าร้อยละ 80

ความเร็วของการเกิดฟาวลิ่งในรูปของค่า $dTMP/dt$ ขณะกรองแบบต่อเนื่อง พบว่า อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่งเท่ากับ 0.035 mbar/sec เมื่อกรองน้ำผิวดินที่ค่าฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต 50% (48 L/h/m^2) ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า 11 เท่า เปรียบเทียบกับเมื่อกรองตัวอย่างที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% (16 L/h/m^2) ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ในน้ำผิวดินที่ค่าฟลักซ์สูง คือ 106 และ 55 L/h/m^2 พบว่า อัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณ 0.008 mbar/sec ซึ่งต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่เติมเฟอริกคลอไรด์ประมาณ 4 เท่าตัว สำหรับตัวอย่างน้ำทั้งหลังบำบัด เมื่อกรองต่อเนื่องที่ฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต (12 L/h/m^2) พบว่า อัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่ง เท่ากับ 0.0125 mbar/sec ขณะที่เมื่อกรองที่ฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต (4 L/h/m^2) นั้น อัตราเร็วการเกิดฟาวลิ่งมีค่าต่ำกว่าประมาณ 3 เท่าตัว คือ เท่ากับ 0.004 mbar/sec และผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ในน้ำทั้งหลังบำบัดก่อนการกรองอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อัตราเร็วของการเกิดฟาวลิ่งลดลงประมาณ 1.4 เท่า เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์ 12 L/h/m^2 ทั้งนี้ไม่เห็นความแตกต่างของค่าอัตราเร็วฟาวลิ่งเมื่อกรองอย่างต่อเนื่องที่ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต

จากชุดทดสอบกรองต่อเนื่องเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพโดยค่าความต้านทาน (R) ที่ปรากฏก่อนการล้างและภายหลังการล้าง พบว่า น้ำผิวดินไม่เติมอากาศและไม่เติมเฟอริกคลอไรด์ที่ฟลักซ์สูงกว่าค่าวิกฤต 50% (48 L/h/m^2) มีค่าความต้านทานภายหลังการล้างลดลงกว่าร้อยละ 10 เป็นลำดับในแต่ละขั้นตอนการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ ซึ่งสามารถลดและกำจัดฟาวลิ่งแบบผันกลับได้ ทั้งนี้ผลของการล้างฟื้นฟูสภาพด้วยการใช้กรดซิตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถลดค่าความต้านทานเมมเบรนคงเหลืออยู่ได้เล็กน้อย ขณะที่เดินระบบด้วยค่าฟลักซ์ต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% (16 L/h/m^2) มีการสะสมที่ผิวหน้าแบบขั้นแคบบนผิวหน้าเยื่อกรอง ซึ่งค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการสะสม และอุดตันรูกรองของสารอินทรีย์ละลายน้ำ และอนุภาคคอลลอยด์อย่างต่อเนื่อง และพบว่า มีค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนขณะกรองค่อยๆ เพิ่มขึ้น ด้วยอัตราเร็วเท่ากับ 0.003 Pa/sec ค่าความต้านทานเมมเบรนที่เพิ่มขึ้นนั้นถูกทำให้ลดลงกว่าร้อยละ 20-30 เมื่อเสร็จสิ้นการล้างด้วยขั้นตอนต่างๆ สำหรับผลของการล้างฟื้นฟูสภาพด้วยกรดซิตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดค่าความต้านทานเมมเบรนคงเหลืออยู่ได้เพียงเล็กน้อย เป็นฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ ขณะที่ค่าความต้านทานเมมเบรนในชุดการทดลองน้ำผิวดินที่เติมสารเฟอริกคลอไรด์ปริมาณที่เหมาะสมโดยไม่เติมอากาศและเดินระบบที่ค่าฟลักซ์วิกฤต (106 L/h/m^2) พบว่า มีค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าลดลงบ้างเมื่อเสร็จสิ้นการล้างด้วยขั้นตอนต่างๆ ซึ่งค่าความต้านทานเมื่อเสร็จสิ้นจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีฟาวลิ่งน้อยมากหรือแทบไม่มี เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานเมมเบรนสะอาดก่อนใช้กรอง

ค่าความต้านทานเมมเบรนสิ้นสุดการกรองน้ำทั้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่เดินระบบที่ค่าสูงกว่าและต่ำกว่าค่าฟลักซ์วิกฤต 50% ไม่เติมสารดูดติดผิวและไม่เติมอากาศ พบว่า เพิ่มขึ้นประมาณ 2.7-3.3 เท่าจากเมมเบรนสะอาด และมีค่าลดลงเป็นลำดับประมาณร้อยละ 20-37 เมื่อล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ และลดลงอีกร้อยละ 6-18 เมื่อล้างย้อนด้วยกรดและด่าง แสดงว่ามีการสะสมของฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ สำหรับผลการทดลองในชุดการทดลองน้ำทั้งหลังบำบัดขั้นที่สองที่ทำการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 500 mg/L ไม่มีการเติมอากาศและเดินระบบด้วยค่าฟลักซ์สูงกว่าและต่ำกว่าค่าวิกฤต 50% พบว่า ค่าความต้านทานเมมเบรนเมื่อสิ้นสุดการกรองเพิ่มจากค่าความต้านทานของเมมเบรนสะอาดเกือบ 2-4 เท่า โดยเมื่อล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์แล้วมีค่าลดลงเป็นลำดับเช่นกัน ส่วนผลของการล้างด้วยกรดซิตริกและด่างที่อัตราการกรองย้อนต่ำสามารถกำจัดฟาวลิ่งแบบไม่สามารถผันกลับได้ โดยค่าความต้านทานลดลงเป็นลำดับอีกประมาณร้อยละ 0.8-31 ทั้งนี้ในชุดการ

ทดลองนี้ขั้นตอนการล้างทั้งหมดสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างสมบูรณ์ ไม่พบฟาวลิงตกค้างเนื่องจากเป็นผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับสารละลายอินทรีย์ในน้ำทิ้งซึ่งเป็นสาเหตุของฟาวลิงแบบไม่ผันกลับ แม้ว่าจะเดินระบบกรองที่ค่าสูงกว่าค่าฟลักซ์วิกฤตก็ตาม

ผลการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะการเดินระบบแบบต่อเนื่อง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) พบว่า ค่าอัตราเร็วของการเกิดฟาวลิง ($dTMP/dt$) สูงสุด เมื่อกรองสารละลายกรดฮิวมิกความเข้มข้น 10 mg/L มีค่า 1.12 mbar/s เมื่อกรองที่ค่าฟลักซ์คงที่ 30 L/h/m² และไม่มีการเติมอากาศ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าประมาณ 10 เท่าเทียบกับค่าอัตราเร็วฟาวลิงที่เกิดขึ้นเมื่อกรองกรดฮิวมิกความเข้มข้น 5 mg/L และการกรองสารแขวนลอยอนุภาคที่ความเข้มข้นสูงของเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นกราฟลักษณะเส้นตรง และค่าอัตราเร็วการเกิดฟาวลิงสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคขณะกรองเพิ่มขึ้น และการผสมสารละลายกรดฮิวมิกซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กรวมกับสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์/ผงถ่านกัมมันต์ ทำให้อัตราเร็วการเกิดฟาวลิงสูงกว่าเมื่อกรองสารแขวนลอยเพียงชนิดเดียว

ผลการศึกษาสาเหตุ กลไกการอุดตัน และประสิทธิภาพการล้างเพื่อฟื้นฟูสภาพเยื่อกรอง: กรณี Model suspension (สารละลายกรดฮิวมิก สารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ สารแขวนลอยผงถ่านกัมมันต์ และสารผสมสองชนิด) ซึ่งใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบที่เดินระบบกรองแบบต่อเนื่อง ที่ค่าฟลักซ์คงที่ทั้งในชุดการทดลองของน้ำผิวดินและน้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง โดยดำเนินการล้างเยื่อกรองด้วยเทคนิคไฮโดรไดนามิกส์ร่วมกับการใช้สารเคมีชนิดกรดและด่างเพื่อระบุสาเหตุและระดับของฟาวลิงที่เกิดขึ้น ทั้งนี้จากผลสรุปค่าความต้านทานภายหลังเสร็จสิ้นการล้างฟื้นฟูสภาพด้วยขั้นตอนต่างๆ แล้ว สรุปได้ว่าฟาวลิงแบบผันกลับได้เป็นชนิดของฟาวลิงที่พบเมื่อกรองสารแขวนลอยเดี่ยวของอนุภาคเบนโทไนต์และผงถ่านกัมมันต์ ขณะที่ระดับของค่าความต้านทานคงเหลือค้างในเมมเบรนขณะล้างชุดกรองเมื่อกรองสารละลายกรดฮิวมิก หรือ สารผสมระหว่างสารแขวนลอยอนุภาคเบนโทไนต์ ผงถ่านกัมมันต์ กับ กรดฮิวมิก พบว่า มีค่าความต้านทานคงเหลือค้างสูง ซึ่งขั้นตอนการล้างสามารถฟื้นฟูสภาพชุดเมมเบรนได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ค่าความต้านทานเมมเบรนสุดท้ายใกล้เคียงหรือเท่ากับเมมเบรนสะอาดก่อนกรอง เมื่อใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นั้นแสดงว่าเป็นฟาวลิงแบบผันกลับไม่ได้

Abstract

The objective of this research work is to develop the immersed membrane for improving reservoir surface water from Prince of Songkla University and for treating treated wastewater. The influence of hydrodynamic conditions on the performance and its efficiency were studied. The origin and rate of membrane fouling in ultrafiltration membrane module studied were investigated in several conditions tested both with and without chemical conditioning for reservoir surface water and treated wastewater. The experiments were carried out on a lab-scale pilot where a hollow fiber bundle was directly immersed in a 60 liter tank. The immersed membrane bundle was packed with polysulfone capillary fibres with a pore size of $0.1\text{ }\mu\text{m}$ and a surface area of 0.1 m^2 . The aeration supply was provided by a distributor placed under the membrane module. The generated bubbles raised up throughout the fibre network and the suspension were also stirred by an impeller to avoid any particle settling. Transmembrane pressure (TMP) was monitored by a negative manometer sensor placed on the permeate pipe and connected with a computer data logger. The critical filtration condition was identified by increasing the permeate flux step by step, and measuring the associated TMP value obtained for each step filtering the reservoir surface water and treated wastewater both with and without 3 types of chemical conditioning (FeCl_3), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, PACI and PAC) at the optimum dose observed.

The efficiency of chemical conditioning was evaluated by using different water quality parameters in each test. In addition, the performance of membrane filtration was identified by measuring the rate of fouling in terms of dTMP/dt when filtering at a flux constant (lower than critical flux value 50% and higher than critical flux value 50%) without aeration and chemical conditioning, without aeration and with chemical conditioning. The experiments of feed model, bentonite, PAC and humic acid, in single and mixed suspension were also filtered to test membrane performance during a continuous run. The results showed that FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ and PACI provided good efficiency to remove turbidity of about 94-97% while color, absorbance and NOM removal were in the low range or non detectable. To obtain a turbidity value lower than 5 NTU, the optimal dose determining to minimise sludge production appeared at 20 mg/L of FeCl_3 , 50 mg/L of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ for reservoir surface water and 3 mg/L of PACI 500 mg/L of PAC for treated wastewater, with an

absorbance of 254 nm and NOM removal of over 50%, and a very low BOD₅ residue or non detectable.

It can be observed that a critical flux value was maintained in the 30-35 l/m²/h range whatever the air-flow rates. When reservoir surface water was conditioned by the adding of different types of coagulants, the results clearly showed the positive effect of this conditioning. The average permeability remained close to the obtained value when filtering tap water, i.e. close to 200 l/m²/h/bar corresponding to an intensification of filtration by a factor of 2 or even 3. Results also point out the benefits of using FeCl₃ to control fouling evolution whatever the air-flow rates. The optimal dose determining the minimisation the sludge production appeared very low: 20 mg/l in comparison with the values obtained with Alum and PACl. Furthermore, the optimal 10 mg/l dose of FeCl₃ observed in the membrane system appeared two times lower than the dose obtained in the Jar Test that pointed out the role of membrane selectivity in comparison with gravitational settling. The flocculation step appears also necessary. In addition, air injection did not actually modify the intensification of permeate flux, illustrating results obtained with FeCl₃ conditioning but it was effective when coupling with PACl. The critical flux value did not show any difference in increase when PAC conditioning was done in treated wastewater. However, the content of humic acid in the permeate of treated wastewater with PAC decreased more than in the condition without PAC, the residual humic acid was about 0.5-1.7 mg/L of that corresponding to 80% removal rate.

The rate of fouling during continuous filtration can be explained in terms of dTMP/dt. For filtering reservoir surface water at 50% higher than the critical flux value (48 L/h/m²), the dTMP/dt value was about 0.035 mbar/sec, which was 11 times higher than when filtering was operated at 50% lower than the critical flux value (16 L/h/m²). The benefit of adding FeCl₃ showed that there were no different values of dTMP/dt when filtering at higher or lower critical flux values (106 and 55 L/h/m²) and it was very small amount at 0.008 mbar/sec. This value was 4 times lower than the condition of feed without FeCl₃. In the case of treated wastewater, the fouling rate was about 0.0125 mbar/sec when filtering at 50% higher than the critical flux value (12 L/h/m²) while filtering at 50% lower than the critical flux value (4 L/h/m²) induced the dTMP/dt at about 0.004 mbar/sec. The addition of PAC in treated wastewater reduced the dTMP/dt to a factor of 1.4 when filtering was done at 12 L/h/m² and it did not show any difference in the fouling rate achieve even when operating at 50% lower than the critical flux value.

The experiments of filtration in continuous mode, which quantified the cause and degree of fouling which occurred, used specific membrane cleaning procedures. The residual membrane resistance value (R) before and after cleaning showed that the hydrodynamic steps including air turbulence, rinsing with water and water backwashing reduced 10% of resistance values for each step more than when finished the filtration of reservoir surface water was without FeCl_3 at 50% higher than the critical flux value (48 L/h/m^2). This technique decreased reversible fouling from particle deposition while chemical cleaning with citric acid and caustic solution could reduce the small amount of resistance remaining in the membrane. During filtration at 50% lower than the critical flux value (16 L/h/m^2) cake deposition occurred increasing resistance due to particle retention on the membrane surface. Soluble organic matter and colloids adsorbed inside the pores. These effects induce the increasing of Trans membrane pressure (TMP) with 0.003 Pa/sec . The resistance value decreased to around 20-30% when the cleaning steps finished. It was found that using citric acid and caustic solution reduced only a small amount of the remaining resistance value, which was irreversible fouling. The resistance value in the condition without aeration and at critical flux value (106 L/h/m^2) showed that the R values appeared to be a very small part, increasing after filtration or the same as resistance before filtration. After filtration, treated wastewater at 50% higher or lower than the critical flux value without PAC and aeration, was found to have increased resistance values of between 2.7-3.3 times compared with the clean membrane. These values were reduced in series, 20-37%, when using the hydrodynamic technique. In addition, chemical backwashing allowed a reduction of 6-18% of the resistance value. This indicated the remains of irreversible fouling in this filtration tested. For the condition with PAC 500 mg/L and without aeration at 50% lower than the critical flux value, it was found that the R was increased nearly 2-4 times the clean membrane. The effect of the hydrodynamic technique showed a good method of reducing the R values in series while citric acid and caustic solution backwashing could regenerate nearly 100% of membrane permeability due to PAC conditioning. This performed well to remove soluble organic matter causing irreversible fouling although the system operated under super-critical flux.

The results obtained when filtering single and mixed suspension of model suspensions (humic acid solution, bentonite suspension, PAC suspension) showed that the fouling rate ($dTMP/dt$) was a maximum of about 1.12 mbar/s when the filtration was of a single humic solution of 10 mg/L at a constant flux 30 L/h/m^2 and without aeration. This fouling rate value was 10 times higher than the value obtained when filtering a humic acid solution at 5 mg/L. The evolution of filtration for bentonite suspension and PAC suspension demonstrated that the TMP values increased with time then a linear relation occurred. The fouling rate appeared directly proportional to suspended particle concentration when filtration was carried out without conditioning. The mixing of humic acid with the suspension of bentonite induced the rate of fouling to increase more when working with single suspensions. The fouling origin and its mechanism were investigated by specific cleaning procedures in the same way as the filtration of feed suspension mentioned above. The flux constant was operated and the hydrodynamic/chemical cleaning was carried out to identify the origin and level of membrane fouling. The reduction of fouling was presented in terms of the remaining resistance value (R) after each cleaning approach. The resistance values were summarized in table 4-22. They showed that major type of fouling is reversible fouling when filtering a single suspension of bentonite and PAC. The resistance values remained quite high in the membrane module during cleaning when filtering a single humic solution or a mixed suspension of bentonite/PAC with humic acid. This remaining resistance value could regenerate almost completely. The final resistance value was still close to the obtained value in the clean membrane when cleaned with a caustic solution. This indicated that there was irreversible fouling.